



Leo Sillanpää

Sairaalarakennusten energiatehokkuuden kehittäminen rakennusautomaation avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (YAMK)
Talotekniikka
Opinnäytetyö
29.3.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Leo Sillanpää Sairaalarakennusten energiatehokkuuden kehittäminen rakennusautomaation avulla 52 sivua 29.3.2012
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikka
Ohjaajat	kiinteistöpalvelupäällikkö Jukka Hakila opettaja Jarmo Tapio
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää rakennusautomaatiojärjestelmän ja talotekniikan auditoinnilla saavutettavaa energiansäästöä sairaalarakennuksessa. Auditoinnin tavoitteena on varmistaa rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyn talotekniikan toimivuus ja energiatehokas käyttö.</p> <p>Kuuteentoista HUS-kuntayhtymän sairaalakiinteistöön tehtiin rakennusautomaatiojärjestelmien auditointi vuoden 2011 lämmitys- ja jäähdytyskausien aikana. Auditoinnit tuottivat toimenpide-ehtotuksia, joilla tehostettaisiin merkittävästi sairaaloiden energiatehokkuutta heikentämättä tilojen olosuhteita.</p> <p>Seurantaan valittiin kaksi sairaalakiinteistöä (A ja B), joissa toimenpiteitä toteutettiin valittujen urakoitsijoiden kanssa syksyllä 2011. Toteutuksia seurattiin urakoitsijoiden tuottamien raporttien perusteella. Energian kulutusta seurattiin sähkön ja lämmön osalta kiinteistöissä olevan RYHTI-järjestelmän tuottamien energianseurantaraporttien avulla.</p> <p>Seurantajakson aikana saatiin toimenpiteiden avulla vähennettyä lämmitysenergian kulutusta sairaala A:ssa 7,7 % ja sähköenergian kulutusta 5,8 %. Sairaala B:ssä lämmitysenergian kulutus väheni 14,7 % ja sähköenergian kulutus 6,8 %.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksien perusteella päädyttiin seuramaan rakennusautomaatiojärjestelmässä tehtyjen muutosten pysyvyyttä keskitetyllä etävalvonnalla ja energiakulutuksen seurantaa parannettiin energiamittareiden etäluennalla. Rakennusautomaation auditointi suoritetaan kolmen vuoden välein.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, rakennusautomaatio, sairaala

Author Title Number of Pages Date	Leo Sillanpää Developing the energy efficiency of a hospital with building automation 52 pages 29 March 2012
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Jukka Hakkila, Real Estate Services Manager Jarmo Tapio, Senior Lecturer
<p>The aim of this final year project was to find out how much energy can be saved if the building automation system and building services in hospital buildings are audited. The purpose of the audit is to ensure the functionality and energy efficiency of the building services linked to the building automation system.</p> <p>The building automation systems in sixteen hospital properties were audited both during the heating and the refrigeration period in 2011. The audits resulted in suggestions for action to improve the energy efficiency of the hospitals without making the conditions in the buildings any worse.</p> <p>Two hospital buildings were chosen as samples and the suggestions were carried out in them. As a result, the consumption of heating energy was reduced by 7,7 % and the consumption of electrical power by 5,8 % in one of the hospitals. In the other, the consumption of heating energy was reduced by 14,7 % and the consumption of electrical power by 6,8 %.</p> <p>To ensure that the results of the changes are permanent, the buildings are followed by a centralized control system. Moreover, the control of the energy consumption is improved by remote monitoring of the energy meters. The building services engineering will be reaudited at an interval of three years.</p>	
Keywords	Energy efficiency, building automation, hospital

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taustaa	3
	HUS-Kiinteistöt Oy	3
3	Sairaalan energiankulutus ja talotekniikkaa	5
3.1	Energiankulutuksen erityispiirteitä	5
3.2	Energiankulutus	7
3.3	Rakennusautomaatiojärjestelmä	10
3.4	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	13
3.5	Lämmöntalteenotto (LTO)	16
3.5.1	Sairaalan LTO:t	16
3.5.2	Lämpötilahyötysuhde	18
3.5.3	Huurtumisen esto	18
3.5.4	Lämmönsiirtoneste	19
3.5.5	Lämmöntalteenoton ongelmat	20
3.6	Energiankulutuksen seuranta	22
4	Energiakatselmukset ja kuntokartoitukset kohteissa	25
4.1	Sairaala A	25
4.1.1	LVIA-järjestelmät	25
4.1.2	Sähköjärjestelmät	26
4.2	Sairaala B	26
4.2.1	LVIA-järjestelmät	27
4.2.2	Sähköjärjestelmät	28
5	Talotekniikan toimivuuden ja energiatehokkaan käytön audioti	30
5.1	Auditointituloksista yleisesti	30
5.2	Auditointitulokset sairaala A:ssa	32
5.3	Auditointitulokset Sairaala B:ssä	34
6	Auditoinnin toteutustoimenpiteet	36
6.1	Auditointitoteutukset sairaala A:ssa	36
6.2	Auditointitoteutukset sairaala B:ssä	37

7	Tulokset	40
7.1	Sairaalan A lämpöenergia	40
7.2	Sairaalan A sähköenergia	41
7.3	Sairaalan B lämpöenergia	41
7.4	Sairaalan B sähköenergia	42
8	Johtopäätökset	43
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. Aikaohjelmien muutosehdotukset	48
	Liite 2. Energian vuosikulutukset	51

1 Johdanto

Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin (HUS) ja työ- ja elinkeinoministeriön välisellä energiatehokkuussopimuksella HUS on sitoutunut kaudella 2008–2016 toimintansa energiatehokkuuden parantamiseen valtioneuvoston asettamien Suomen energia- ja ilmastostrategian tavoitteiden mukaisesti. Sopimus liittyy Euroopan yhteisön vuonna 2006 voimaan tulleeseen direktiiviin energian loppukäytön tehokkuudesta ja energia-palveluista. Direktiivi antaa jäsenvaltiolle ohjeellisen yhdeksän prosentin energiansäästötavoitteen vuoteen 2016 mennessä ja asettaa julkisen sektorin esimerkillisen toimijan rooliin tavoitteen saavuttamisessa.(1.)

HUS-Kiinteistöt Oy toteuttaa toimenkuvansa mukaisesti energiatehokkuussuunnitelman toimenpiteitä, joista pääosa liittyy rakennusten tekniseen lämmön- ja sähkönkulutuksen säätelyyn. Eräänä käytännön toimenä on tehdä suunnitelmallisesti energiakatselmuksia, joilla kartoitetaan sairaalakiinteistöjen energiansäästömahdollisuuksia. Työ- ja elinkeinoministeriön tukemat energiakatselmushankkeet ja niistä saadut kuntoarvio- ja energiakatselmusraportit ovat olleet talotekniikan osalta LVI- ja sähköpainotteisia, joissa rakennusautomaation osuus on ollut vähäinen. Rakennusautomaatiojärjestelmä on kuitenkin keskeisessä osassa energiatehokkuuden parantamisessa, koska järjestelmällä hallitaan sairaalakiinteistön taloteknisiä toimintoja.

Yhtenä toimenpiteenä asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi tehtiin kuuteentoista HUS-kuntayhtymän sairaalakiinteistöön talotekniikan auditointi vuoden 2011 lämmitys- ja jäähdytyskausien aikana hyödyntäen rakennusautomaatiojärjestelmiä. Auditoinnit tuottivat ehdotuksia toimenpiteistä, joilla voidaan parantaa sairaaloiden energiatehokkuutta.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään rakennusautomaation auditoinneista saatujen toimenpide-ehdotusten toteutuksista mahdollisesti saatavia energiasäästöjä. Tavoitteena oli varmistaa rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyn talotekniikan toimivuus ja sen energiatehokas käyttö *heikentämättä sairaalan sisäilmaolosuhteita*. Seurantaan valittiin kaksi sairaalakiinteistöä (A ja B), joissa toimenpiteitä toteutettiin valittujen urakoitsijoiden kanssa syksyllä 2011. Toteutuksia seurattiin urakoitsijoiden tuottamien raporttien

perusteella. Energian kulutusta seurattiin sähkön ja lämmön osalta kiinteistöissä olevan RYHTI-järjestelmän tuottamien energianseurantaraporttien avulla.

Työssä painotetaan pienillä investoinneilla saavutettavia säästöjä. Tarkastelujakson aikana ei toteutettu merkittäviä investointeja vaativia toimenpiteitä, joita toteutetaan erikseen pitkän tähtäimen suunnittelun (PTS) puitteissa. Työ perusteella päätetään jatkotoimenpiteistä, joilla voidaan tehostaa rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyn talotekniikan toimivuutta ja sen energiatehokasta käyttöä.

2 Taustaa

Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri

Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri (HUS) on Suomen suurin sairaanhoitopiiri, jossa on 21 sairaalaa, yli 100 muuta rakennusta, yhteensä 940 000 bm². HUS on 26 kunnan omistama kuntayhtymä, jonka tehtävänä on tuottaa sen jäsenkuntien ja sairaanhoitopiirin järjestämisvastuuseen kuuluvia erikoissairaanhoidon ja kehitysvammanhuollon palveluja. Erikoissairaanhoidon on jaettu Uudellamaalla viideksi *sairaanhoitoalueeksi* (kuvio 1).



Kuvio 1. HYKS-alueen sairaaloita Helsingissä ovat Iho- ja allergiasairaala, Kirurginen sairaala, Kätilöopiston sairaala, Lastenklinitikka, Lastenlinna, Meilahden kolmiosairaala, Meilahden tornisairaala, Naistenklinitikka, Psykiatriakeskus, Silmä-korvasairaala, Syöpätautien klinitikka ja Töölön sairaala.

HUS-Kiinteistöt Oy

HUS-Kiinteistöt Oy on kuntayhtymän kokonaan omistama voittoa tavoittelematon tytäryhtiö, joka tilaaja-tuottajatoimintamallin periaatteiden mukaisesti tuottaa HUS:n kiinteistöjen hoidon ja kunnossapidon, rakennuttamisen sekä turva- että asuntopalvelut.

Rakennuttamispalvelut vastaa kaikista HUS kuntayhtymän suurista uudisrakennus- ja peruskorjausinvestointihankkeista sekä osasta pieniä investointeja (pieniä investointeja hoitaa myös yhtiön kunnossapitopalvelut -yksikkö).

Kiinteistöpalvelut vastaavat HUS kuntayhtymän sairaalakiinteistöjen kiinteistönhoidosta ja -huollosta sekä osittain kunnossapidosta. Yksikön vastuulla on myös irtaimisto- ja laitekunnossapito. Lisäksi tuotetaan HUS:n toimintaan liittyville yksiköille ja HUS:n tulosyksiköille muita kiinteistötoimen palveluita.

Turvapalvelut vastaa keskitetysti HUS:n sairaaloiden turvallisuuteen liittyvistä tehtävistä.

Kunnossapitopalvelut vastaa HUS:n sairaalakiinteistöjen kunnossapitotoista, käyttäjille tehtävistä pienkorjauksista sekä yhdessä rakennuttamispalveluiden kanssa toteutettavista pienistä investoinneista.

Asuntopalvelut vastaavat palvelussuhdeasuntojen välitykseen, hallinnointiin ja niiden kunnossapitoon liittyvistä tehtävistä.

Hankintapalvelut tuottavat hankintapalveluja kaikille yksiköille. Pääosa hankinnoista perustuu puitejärjestelyihin, joihin valittuja toimijoita kaikki HUS-Kiinteistöt Oy:n yksiköt voivat käyttää.

3 Sairaalan energiankulutus ja talotekniikkaa

3.1 Energiankulutuksen erityispiirteitä

Verratessa sairaalan energiankulutusta muihin rakennusryhmiin on huomioitava sairaalatilojen pitkät käyttöajat, tilojen olosuhdevaatimukset ja paljon energiaa kuluttavat laitteet. Sairaalan sisällä tilakohtainen energiankulutuksen vaihtelu on huomattavaa. Jatkuvasti käytössä olevat tilat edellyttävät ilmanvaihdon ja valaistuksen jatkuvaa käyttöä. Energian kulutusta lisäävät korkeat sisäilmaston laatuvaatimukset ja tilojen painesuhteiden hallinta, sekä suuret tilakohtaiset ilmamäärät. Ilmanvaihdon osuus kokonaisenergiankulutuksesta on noin puolet, johon rakennusautomaatiolla voidaan merkittävästi vaikuttaa.

Sairaalarakennuksissa on lämpö- ja sähköenergian kulutuksen lisäksi myös höyryn tuotantoon tarvittavaa energian kulutusta. Sairaalan sisätiloja halkovat höyryjärjestelmien putkistojen lämpöhäviöt kuormittavat kesäisin jäähdytysjärjestelmää ja täten aiheuttavat ylimääräistä sähköenergian kulutusta. Höyryä syötetään linjastoihin, joissa ei ole höyryn jatkuvaa käyttöä.

Erityislaitetilat, kuten magneettikuvaus, UPS-akustotilat, sädehoitotilat ja palvelintilat, vaativat ympärivuotista jäähdytystä. Sairaaloiden keittiöiden ruoanvalmistus, kylmätilat ja astianpesu sekä välinehuoltotilojen autoklaavit ja pesukoneet kuluttavat merkittävästi energiaa.

Yksittäisten tilojen osalta esimerkiksi leikkaussalien ilmastoinnilla on merkittävä vaikutus energiankulutukseen, koska leikkaussalien ilmapirrat ovat suuria ja salien tuloilmaa kostutetaan sekä kuivatetaan. Osassa sairaaloita leikkaussalien ilmastointi käy koko ajan samalla teholla, ja osassa sairaaloita ilmastointia pienennetään yön ajaksi. Leikkaussalien ilmastoinnin käytöstä tilojen ollessa tyhjinä ei ole olemassa kansallisia tai kansainvälisiä ohjeita. Leikkaussalien sisäilman kostutukseen käytetään sairaalahöyryä, mutta useissa saleissa on kostutustoiminta estetty käyttöhenkilökunnan toivomuksesta. Kostutusjärjestelmiä on aikanaan perusteltu herkästi syttyvien anestesiakaasujen hallinnalla, mutta nykyään näiden kaasujen käyttö on vähentynyt (2, s.25).

Suomen sairaalateknisen yhdistyksen LVI-jaos on ryhtynyt selvittämään kustutusjärjestelmän toteutusvaihtoehtona veden suorasumutusta tuloilmaan. Hanke on vielä kesken. Tämän lisäksi olisi myös selvittävä, onko kustutusjärjestelmän tarve kaikissa saleissa vai voidaanko järjestelmä toteuttaa vain tietyissä leikkaussaleissa.

Energiatehokkuusvaatimukset rakentamismääräyksissä

Vuoden 2012 rakentamismääräyskokoelmassa D3 otetaan käyttöön kokonaisenergiatarkastelu, joka muuttaa rakentamisen energiatehokkuuden ohjausta mullistavasti (3). Kokonaisenergiakulutus esitetään E-luvulla, joka lasketaan rakennukseen ostettavien energioiden ja energiamuotojen kertoimien tulona (kuvio 2). Aikaisemmasta poiketen D3 (2012) ottaa huomioon energiamuodot ja lämmitystavat. Kertoimien määrittämisen peruste on ollut primäärienergia, erityisesti uusiutumattomien luonnonvarojen käyttäminen.



Kuvio 2. Ympäristöministeriön E-luvun laskentaesimerkki.

Sähköenergian kerroin on 1,7 ja kaukolämpöenergian kerroin on 0,7, joten jokainen säästetty sähköwatti on kertoimen vuoksi kokonaisenergiakulutuksen kannalta merkittävämpi kuin kaukolämmössä säästetty watti. Tällä muutoksella pyritään vähentämään sähköenergian käyttöä erityisesti rakennusten lämmittämisessä.

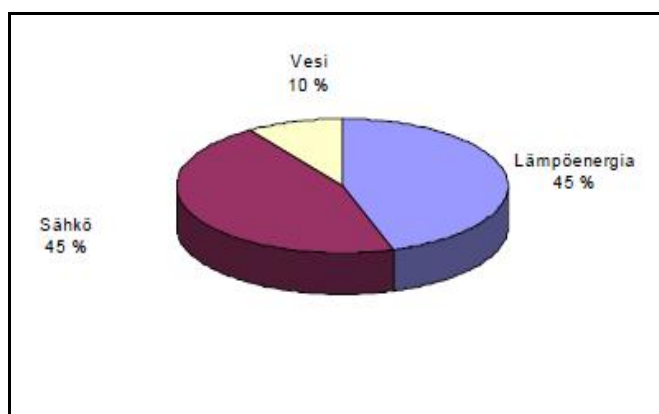
Uusi energiatehokkuusdirektiiviesitys EED

Uusi direktiivi julkaistiin 22.6.2011, ja siinä julkinen sektori veloitetaan edelläkävijäksi korjausrakentamisen osalta: korjausvelvoite on 3 % vuosittain julkisen sektorin rakennuskannan siitä osasta, joka ei täytä minimivaatimuksia (Suomessa vasta valmisteilla). Määräys astuisi voimaan vuoden 2014 alusta ja tarkoittaisi enimmillään julkisten peruskorjausten kaksinkertaistamista nykyisestä. Esityksessä veloitetaan energian myyjät ja jakelijat säästämään asiakkaidensa energiaa 1,5 % vuosittain, mutta tämä voidaan saavuttaa muillakin keinoilla, kuten Suomessa tehdyillä energiansäästösopimuksilla. Kaikkiin rakennuksiin vaaditaan myös loppuasiakkaille energiamittareita, mikä Suomessa ei ole vielä toteutunut lämmön mittauksen osalta. Kaavoituksen määräyksiin vaaditaan, että kaikki yli 20 MW:n lämpölaitokset tulee sijoittaa niin, että yhteistuotantolämpö voitaisiin käyttää rakennusten lämmitykseen. (4.)

3.2 Energiankulutus

Sairaalarakennusten energiankulutuksen jakauma

Sairaalarakennusten energiankulutus muodostuu lämpöenergian, sähköenergian ja höyryn tuotantoon tarvittavan energian kulutuksesta. HUS-alueen sairaaloihin tehtyjen katselmusten perusteella (5) on voitu muodostaa sairaalarakennuksen keskimääräinen energiankulutusten jakauma (kuvio 3).



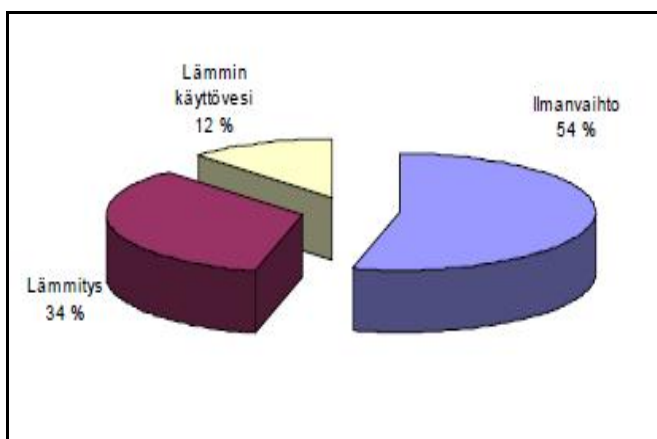
Kuvio 3. Tyypillinen jakauma sairaalarakennusten energiakustannuksissa.

Energiakustannusten jakauma vaihtelee kohdekohtaisesti. Yksittäisessä kohteessa jakauma voi poiketa, jos kiinteistössä ei esimerkiksi ole merkittävästi lämmöntalteenottoa. Näissäkin tapauksissa poikkeamat ovat olleet muutaman prosentin luokkaa.

Lämmitysenergia

Sairaaloiden lämmitysenergian kulutus muodostuu tilalämmityksestä, ilmanvaihdon lämmityksestä sekä lämpimän käyttöveden lämmityksestä (kuvio 4). Energiaa kuluttavia LVI-tekniisiä järjestelmiä sairaaloissa ovat

- lämmitysjärjestelmä
- käyttövesijärjestelmä
- jäähdytysjärjestelmä
- höyry- ja lauhdejärjestelmä
- sairaalakaasujärjestelmä (paineilma).

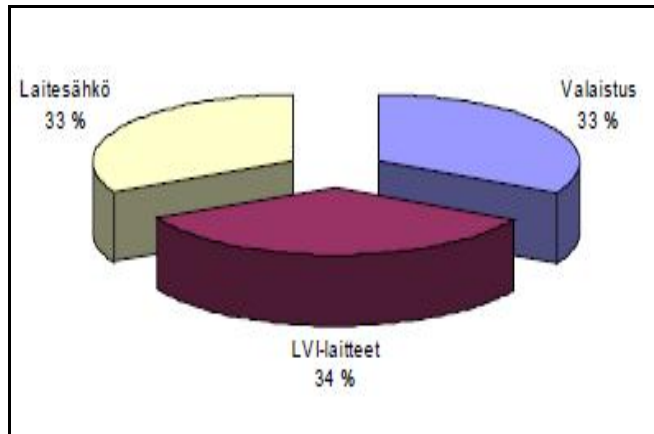


Kuvio 4. Keskimääräinen lämmitysenergian kulutusjakauma sairaalassa.

Nykyrakentamisessa lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta tilojen lämmitykseen kuluu energiasta noin puolet, vajaa puolet kuluu ilmanvaihdon lämmitykseen ja noin 5–10 % kuluu lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

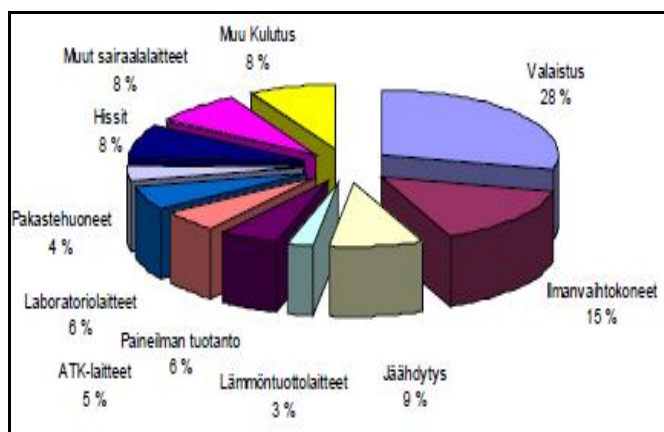
Sähköenergia

Sähköenergiaa sairaalakiinteistössä käyttäviä toimintoja ja laitteita ovat valaistus, jäähdytys, kylmiöt, paineilman tuotanto, LVI-järjestelmien pumppu- ja puhallinkäytöt, sähkölämmitykset sulatukset sekä sairaala-, laboratorio- ja toimistolaitteet. HUS-sairaaloihin tehtyjen energiakatselmusten perusteella on laskettu keskimääräinen karkea sähköenergian kulutuksen jakauma (kuvio 5).



Kuvio 5. Keskimääräinen sähkön kulutusjakauma.

Sähkön kulutus vaihtelee sairaalakohtaisesti. Erään sairaalan energiakatselmuksen mittauksiin perustuva jakauma (kuvio 6) kertoo sähkönkulutuksen jakautumisen laitetasolla.



Kuvio 6. Laitekohtainen sähkön kulutusjakauma.

Merkittävimmät sähköenergian kuluttajat ovat valaistus sekä ilmanvaihto. Rakennusautomaatiojärjestelmällä voidaan vaikuttaa valaistukseen, jos ohjaukset on liitetty järjestelmään, sekä ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutukseen. Suuri merkitys sähköenergian kulutukseen on myös laitevalinnoilla ja ihmisten käyttötottumuksilla. Valaistuksen osalta esimerkiksi HUS-alueella on vaihdettu T8-loisteputkia tehokkaimpiin T5-loisteputkiin. Lisäksi on selvitetty koekäytössä LED-loisteputken soveltuvuutta sairaalaan.

3.3 Rakennusautomaatiojärjestelmä

Talotekniikalla toteutetaan sairaalatilojen olosuhteet ja rakennusautomaatiojärjestelmällä tätä toteutusta ohjataan, säädetään ja valvotaan. Automaattisten toimintojen avulla optimoidaan olosuhteet ja niiden ylläpitoon vaadittava energia. Järjestelmällä seurataan vaadittavien olosuhteiden toteutumista ja tarvittaessa järjestelmä hälyttää poikkeavuuksista: vika- tai poikkeamahälytykset analysoidaan ja vika korjataan.

Kiinteistökohtainen järjestelmä jakautuu sairaalarakennuksessa kolmeen tasoon:

- kentälaitetaso (anturit ja toimilaitteet)
- alakeskustaso (prosessien ohjaus, säätö ja valvonta)
- ja valvomotas (käyttöliittymä).

Kentälaitteiden avulla kerätään dataa ja toteutetaan toimintoja. Alakeskuksessa on ohjelmistot ja tekniikka, joilla prosesseja hallitaan. Valvomo on PC-tietokone, joka toimii rajapintana järjestelmän ja ihmisen välillä. Valvomosta käsin hoidetaan koko järjestelmän operointi. Useamman sairaalakiinteistön ryhmittymässä yhteinen ohjeistettu käyttöliittymä helpottaa järjestelmän ylläpitoa ja käyttöä. Käyttöliittymän on oltava yhtenäinen eri sairaalakiinteistöissä rakennusautomaatiojärjestelmän toimittajista riippumatta. Toiminnaltaan ja rakenteiltaan yhdenmukainen, ristiriidaton ja looginen, vakioitu valvomon käyttöliittymä helpottaa operointia. Myös yhtenäiset säätöprosessit, vakioidut säätökaaviot, laite- ja pistetunnukset auttavat samaa henkilöstöä operoimaan eri sairaalakiinteistöissä. Hyvä käyttöliittymän on

- selkeä, yksinkertainen ja luotettava
- havainnollinen ja helposti käsiteltävä

- nopeasti opittavissa ja helposti mieleen palautettavissa
- käyttäjää opastava, avustava ja käyttöä ohjaava
- toiminnan tuottavuutta edistävä, havainnollinen, nopea ja tehokas käyttää
- visuaalisesti selkeä ja miellyttävä käyttää
- odottamattomissa ja kriittisissä toiminnoissa käyttäjän toimenpiteet varmistava (6).

HUS-alueen rakennusautomaatiojärjestelmien hälytykset ryhmitellään kolmeen kiireellisyysluokkaan:

- hälytysluokka 1 (turvallisuushälytys), kuten palohälytys, energian jakeluun kuuluvat hälytykset, hissihälytykset ja sairaalakaasuhälytykset
- hälytysluokka 2 (kiireellinen hälytys), kuten jäätymisvaaratermostaatit, tärkeiden ilmanvaihtojärjestelmien puhaltimien ja pumppujen hälytykset (esimerkiksi leikkaussalit, ATK-tilat ja sähkötilat), tärkeiden lämmitysverkostojen pumppujen ja verkostopaineiden hälytykset, alakeskuksien vikahälytykset, tärkeiden jäähdytyslaitteiden ja jäähdytysjärjestelmien hälytykset, sekä muut erikseen määriteltävät tärkeät hälytykset
- hälytysluokka 3 (kiireettömät hälytykset), johon kuuluvat kaikki muut hälytykset.

Hälytysluokat 1 ja 2 ovat jatkoon meneviä hälytyksiä. Nämä hälytykset ilmaistaan paikallisvalvomossa ja ne välitetään jatkohälytysjärjestelmän kautta päivystäjän tai huoltomiehen GSM-puhelimeen vuorokauden ajasta riippuen. Jatkoon menevän hälytyksen perillemeno varmistetaan Meilahden voimakeskuksen valvomosta, joka on miehitetty jatkuvasti. Hälytysluokka 3:n hälytykset eivät välity jatkohälytysjärjestelmään, vaan ne ilmaistaan paikallisessa rakennusautomaation valvomossa.

HUS-Kiinteistöt Oy on toteuttanut toimenpiteitä, joilla koko HUS-alueen rakennusautomaatiojärjestelmien hälytysmäärät ovat vähentyneet kolmasosaan. Näillä toimenpiteillä on ollut myös energiankulutusta vähentävä vaikutus, koska osa hälytyksistä on johtunut energiaa kuluttavista, virheellisistä prosesseista ja viallisista laitteista (7).

Lisäksi yhtiössä on meneillään hanke, jonka tarkoituksena on tuottaa talotekniset mallisäätökaaviot helpottamaan suunnittelutyötä. Säätökaaviot täydentävät yhtiön käyttöliittymäohjetta, jossa on määritelty valvomon grafiikka, sekä laite- ja pistetunnukset.

Tietotekniikkajärjestelmien ja tietoliikenteen voimakkaasta kehityksestä johtuen rakennusautomaatiojärjestelmien elinkaari on 10–15 vuotta, kun esimerkiksi ilmastointijärjestelmien elinkaari on 25–30 vuotta (2, s.18). Rakennuskustannuksissa järjestelmän osuus on noin 1–2 %. Säästämällä rakennusvaiheessa rakennusautomaation laadussa aiheutetaan kymmenien prosenttien ylimääräiset vuosittaiset käyttökulukustannukset järjestelmän elinkaaren aikana (8, s. 33).

Rakennuksen elinkaaren aikana toteutettavat saneeraukset ja laajennukset ovat hankintalaista johtuen tuottaneet samaan sairaalarakennukseen useita rakennusautomaatiojärjestelmiä. Häiriöttömän sairaalatoiminnan kannalta olisi kuitenkin syytä tukeutua yhteen rakennusautomaatiojärjestelmään.

Standardi EN 15232

Vuonna 2007 hyväksytty eurooppalainen standardi EN 15232 määrittelee rakennusautomaation vaikutusta energiatehokkuuteen ja antaa rakennusautomaatiolle energiatehokkuusluokitukset (A, B, C ja D), aivan samoin, kuin esimerkiksi jääkaapille on annettu energialuokitus. Rakennusautomaation vaikutusta energiatehokkuuteen voidaan arvioida soveltamalla yksinkertaista, standardin mukaista kerroinmenetelmää tai suorittamalla yksityiskohtaisia laskelmia ja simulointeja. Yleisin rakennusautomaatiojärjestelmien energiatehokkuusluokka on C (9). Energiatehokkuusluokka A:n saavuttamiseksi täytyy järjestelmään lisätä toimintoja, jotka usein kuitenkin jätetään kustannussyistä toteuttamatta. Standardin suosituksia olisi hyvä käyttää soveltuvin osin tukemaan sairaaloiden rakennusautomaatiojärjestelmien ohjeistettua suunnittelua.

3.4 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Määräykset ja ohjeet

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2012) annetaan velvoittavat määräykset ja ohjeet rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (10). Ohjeavot ovat ilmanvaihdon suunnittelun minimiarvoja. Ilmavirtojen osalta mainitaan, että oleskelutiloihin on *käyttöaikana* johdettava terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun takaava ulkoilmavirta. *Käyttöajan ulkopuolella* muun kuin asuinrakennuksen ilmanvaihto suunnitellaan ja rakennetaan siten, että rakennuksen ilmanvaihtokerroin on 0,2 1/h huoneessa, jonka vapaa korkeus on 2,5 metriä.

Ilmanvaihto käyttöajan ulkopuolella voidaan toteuttaa pitämällä hygieniatilojen ilmanvaihtoa jatkuvasti tai jaksottaisesti käynnissä. Käytännössä määräyksen vaatimukset saavutetaan sillä, että pidetään esimerkiksi vessojen ja pukuhuoneiden erilliset poistopuhaltimet käynnissä, kun tiloissa ei ole työajan ulkopuolella ihmisiä. Näin tehdessä on syytä olla tarkkana, että ei aiheuteta kosteus- ja homeongelmia alipaineistamalla rakennusta liikaa.

Jos tiloissa ei ole erillispoistoja, niin IV-koneikon aikaohjelmalla jaksotetaan ilmanvaihto välillä käyntiin. Tarkoituksena on poistaa rakenteista ja sisustuksesta jatkuvasti ilmaan erittyvät epäpuhtaudet. Yleensä ulkoilmavirta mitoitetaan minimissään siten, että se vaihtaa tilan ilman kertaalleen kahdessa tunnissa. Asettamalla IV-koneikko päälle kaksi tuntia ennen käyttöaikaa saadaan tilojen ilma vaihtumaan vähintään kerran. Tällä toimenpiteellä tuuletetaan tilat ennen aktiivikäyttöä.

Sairaalan ilmanvaihto

Suurin osa HUS-sairaaloiden tiloista on jatkuvassa, ympärivuorokautisessa käytössä ja täten ilmastointikin on jatkuvasti käytössä. Tilan ilmanvaihdon on siis oltava riittävä tilassa tapahtuviin toimintoihin, prosesseihin ja kuormitukseen nähden. On myös tiloja, joissa ei ole jatkuvaa toimintaa, mutta ilmastoinnilla hallitaan sisätilan olosuhteita, kuten esimerkiksi steriilivarastot (lämpötila ja kosteus), leikkaussalit (lämpötila, kosteus ja paine-ero) ja eristys huoneet (paine-ero ja lämpötila). Lisäksi on tiloja, jotka eivät ole

jatkuvassa operatiivisessa käytössä, kuten esimerkiksi toimisto-, varasto-, ruokala- ja teknisiä tiloja, joissa jatkuva ilmastointi ei ole perusteltua.

Kaikkien näiden tilojen käyntiajoissa on vaihtelua sairaaloiden välillä ja jopa sairaalan sisällä. Samaa käyntiaikojen vaihtelua on myös tiloissa, jotka luokitellaan potilastiloiksi: on tiloja, jotka on ilmastoitu tarpeen mukaan ja on tiloja, jotka on ilmastoitu jatkuvasti, vaikka tilat ovat käytössä toimistoaikana. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi fysiatrian osastot ja päiväkirurgiset tilat.

Koneellisen ilmanvaihdon käyttö on kallista. Tästä syystä ilmanvaihtoa olisi käytettävä vain silloin, kun tila on käytössä (2, s.18). Aikaohjelmia ei kuitenkaan HUS-alueella ole lähdetty muokkaamaan, koska päätös vaatii myös sairaalahygieenikon hyväksynnän. Aihetta kuitenkin selvitetään HUS-Kiinteistöt Oy:n toimesta.

Myös työterveyslaitos on valmistellut neljää sairaalailmastointiin liittyvää hanketta:

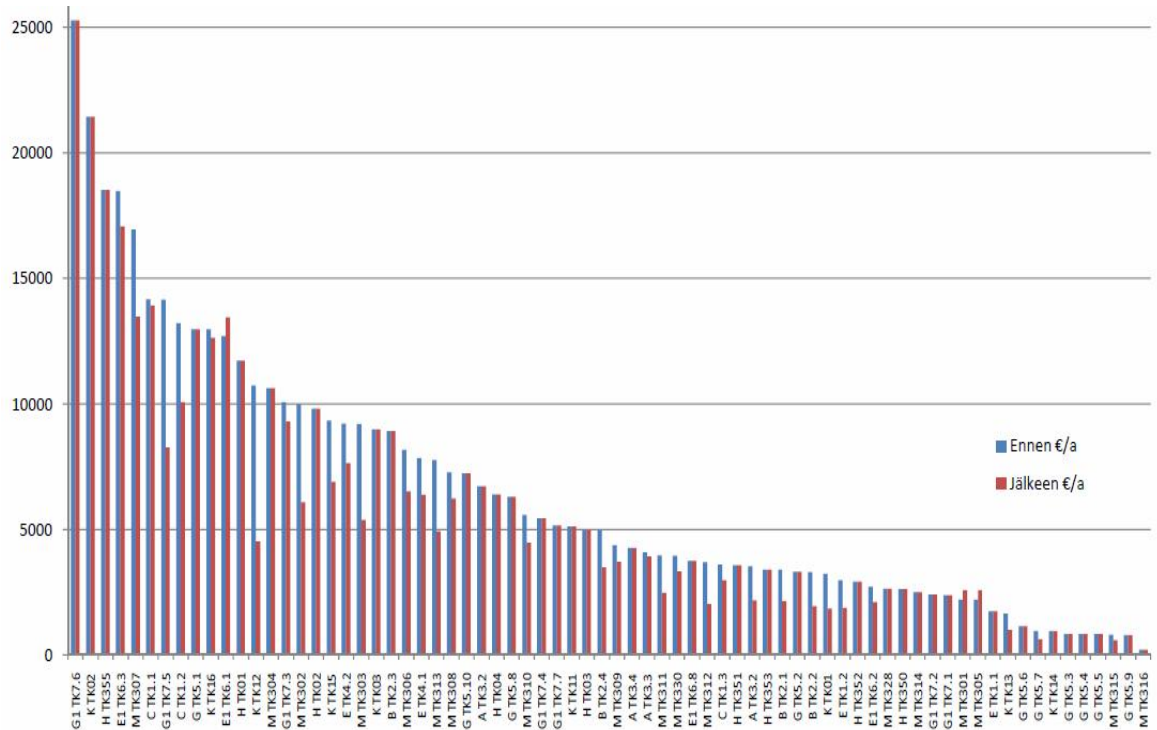
1. ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö ja sisäilman laatu sairaaloiden vuode- ja teho-osastoilla
2. leikkaussalien ilmastointi: käyttö ja energiatehokkuus
3. sumutuskostutushanke
4. vuodeosaston lämpövihtyvyys.

Työterveyslaitoksella on kuitenkin ollut vaikeuksia löytää rahoitusta hankkeille, koska hankkeet ovat enemmän painottuneet energiatehokkuuteen kuin työterveyteen. HUS-Kiinteistöt Oy selvittää yhteistyössä työterveyslaitoksen kanssa hankkeiden mahdollisia toteuttamisvaihtoehtoja.

Sairaalan A ilmanvaihdon aikaohjelmien selvitys

Sairaalassa A laskettiin ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutus Motiwatti 2.0-ohjelmistolla, jonka laskennan peruseriaatteista on materiaalia Motivan kotisivuilla (11). Aluksi laskettiin kulutukset käytössä olevilla aikaohjelmilla. Seuraavaksi selvitettiin jokaisen IV-koneikon mahdolliset aikaohjelmamuutokset (liite 1) haastatteleamalla käyttöhenkilökuntaa ja teknistä henkilökuntaa. Tämän jälkeen laskettiin teoreettiset ener-

giasäästöt, jotka saavutettaisiin rakennusautomaatiojärjestelmän kautta tehtävillä aikaohjelmamuutoksilla. Kuviossa 7 on esitetty aikaohjelmamuutosten tuottamat kulutusmuutokset koneikkokohtaisesti euroina vuositasolla.



Kuvio 7. Sairaalan A säästöt aikaohjelmamuutoksilla.

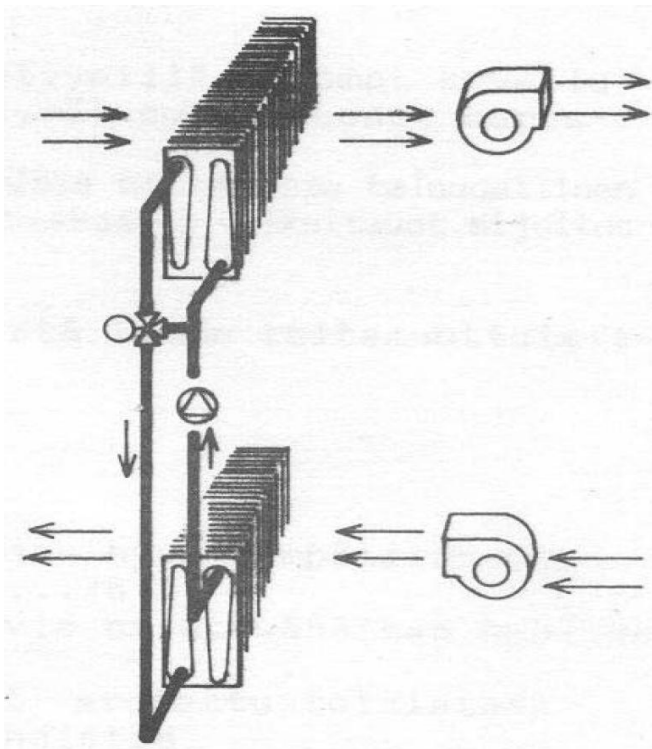
Aikaohjelmia muuttamalla saataisiin lämpöenergian kulutusta vähennettyä 11,9 %. Sähköenergian kulutus vähenisi 11,3 %. Vuosittainen lämpöenergian säästö olisi 825 MWh. ja sähköenergian säästö olisi 274 MWh. Rahallinen säästö olisi yhteensä noin 55 000 euroa vuodessa. On huomioitava, että sairaalan A aikaohjelmien muutosehdotuksia ei ole toteutettu.

3.5 Lämmöntalteenotto (LTO)

3.5.1 Sairaalan LTO:t

Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Lämmitysenergian tarvetta IV-koneikoissa voidaan vähentää merkittävästi lämmöntalteenoton avulla. Rakennuksen poistoilmasta siirretään osa lämpöenergiasta lämmöntalteenottolaitteella tuloilmaan. Sairaaloissa käytetään yleisesti nestekiertoista järjestelmää (kuvio 8), jossa liuospiirissä kiertävällä nesteellä siirretään epäsuorasti poistovirrasta lamellipatterin avulla talteen otettua lämpöenergiaa tuloilmassa olevaan lamellipatteriin. Tämä menetelmä on yleisesti käytössä kaikissa sairaaloissa hygieniasyistä, koska tässä menetelmässä eivät ilmavirrat sekoitu keskenään.



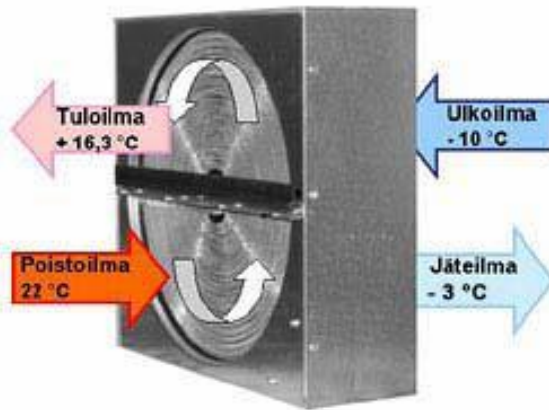
Kuvio 8. Vesi-glykolilämmöntalteenottolaitteen toimintaperiaate. (12.)

Tuloilmassa oleva patteri lämmittää raitisilmaa, ja jäähtynyt neste palaa takaisin poistovirrasta patteriin lämpenemään. Tällä menetelmällä saadaan lämpötilahyötysuhteeksi 45–60 %, kun esimerkiksi pyörivän lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde on jopa

50–85 %. Minimivaatimukset nestekiertoisen lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteelle on 45 % ja pyörivän lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhteelle 65 % (2, s.29).

Pyörivä lämmönsiirrin

HUS-alueen sairaaloissa on muutamia yksittäisiä pyörivällä lämmönsiirtimellä varustettuja koneikkoja. Pyörivässä lämmönsiirtimessä lämmin poistoilma virtaa pyörivän alumiinikennoston läpi, joka pyöriessään siirtää poistoilman lämpöä esilämmittäen raitista ulkoilma ennen kuin se tuodaan asuntoon (kuvio 9). Tulo- ja poistoilmavirrat virtaavat hitaasti pyörivän kiekon läpi vastavirtaperiaatteella ja täten mahdollistavat yli 85 %:n hyötysuhteen. Pyörivä kiekko siirtää myös poistoilmasta kosteutta tuloilmaan.



Kuvio 9. Pyörivä LTO.

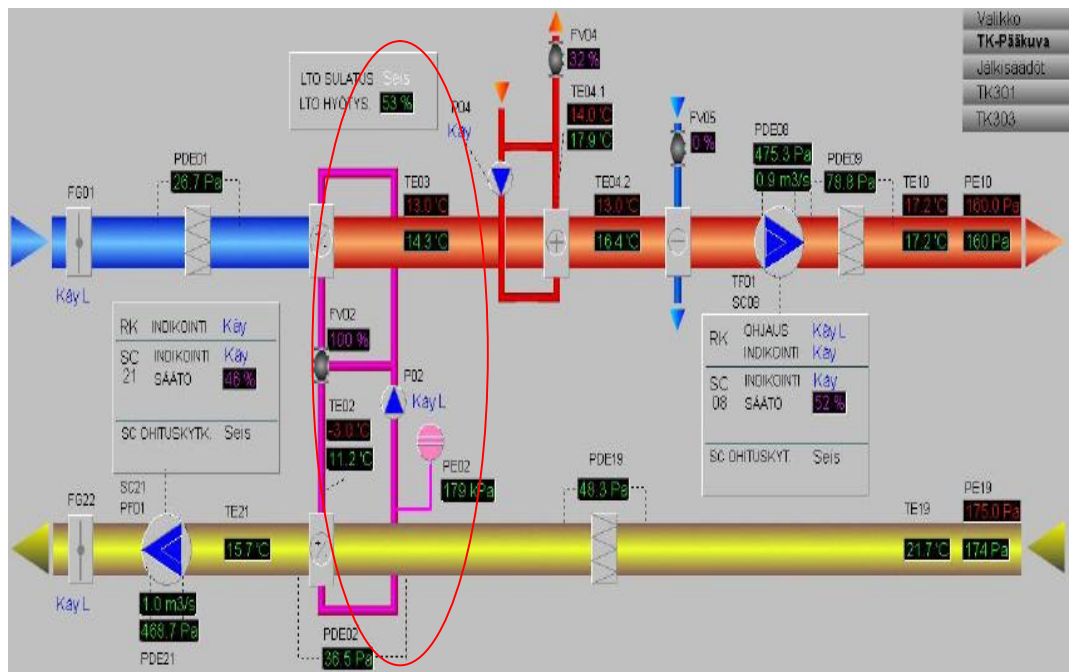
Pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetun koneikon rakenne ja paineet voidaan toteuttaa siten, että poistoilman siirtyminen tuloilmaan on lähes olematon. Pieniä vuotoilmamääriä ei voida pitää merkittävinä pyörivissä lämmönsiirtimissä, jotka palvelevat terveydenhuollon tiloja (2, s.29). Sairaaloissa on kuitenkin lähdetty siitä, että tulo- ja poistoilmavirtojen pienintäkään sekoittumista ei sallita. Tästä syystä menetelmää ei ole käytetty sairaaloissa, ei edes niissä tiloissa, joissa ei ole potilastoimintaa. Leikkaussaleissa kuitenkin sekoitetaan poistoilmaa tuloilmaan kiertoilmakanavan kautta, koska koneikko palvelee vain yhtä tilaa ja tilan suodattimina käytetään HEPA-suodattimia. Silti lämmöntalteenoton menetelmänä ei ole käytetty pyörivää lämmönsiirrintä.

3.5.2 Lämpötilahyötysuhde

Lämmöntalteenoton tehoa kuvaava lämpötilahyötysuhde lasketaan rakennusautomaatiojärjestelmissä kaavalla 1:

$$\eta = \frac{t_{\text{tuloilma}} - t_{\text{ulkoilma}}}{t_{\text{poistoilma}} - t_{\text{ulkoilma}}}, \quad (1)$$

jossa t_{tuloilma} on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen (kuviossa 10, TE03), $t_{\text{poistoilma}}$ on poistoilman lämpötila (kuviossa 10, TE19) ja t_{ulkoilma} on ulkoilman lämpötila.



Kuvio 10. LTO on ympyröity punaisella rakennusautomaatiovalvomon grafiikkakuvassa.

Lämpötilahyötysuhde on laitteen ominaisuus eikä sitä pidä sekoittaa vuosihyötysuhteen, joka on koko rakennuksen ilmanvaihdolle laskettu arvo.

3.5.3 Huurtumisen esto

Kylmänä vuodenaikana joudutaan lämmön talteenottoa rajoittamaan laitteen poistoilmapuolelle muodostuvan mahdollisen jään haittavaikutuksen estämiseksi. Yleensä jää-

tymistä rajoitetaan estämällä poistoilman lämmöntalteenottopatterilta palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötilaa laskemasta alle asetetun lämpötilan. Tämä lämpötila on vaihdellut välillä $-5...+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ongelmana on, että lämmönsiirtonesteen lämpötila ei kerro poistoilman lämpötilasta ja mahdollisesta lämmöntalteenoton poistoilman patterin jäätymisestä mitään. Tällä menetelmällä voidaan aiheuttaa tarpeetonta lämmöntalteenoton tehon leikkaamista.

Järkevämpää olisi rajoittaa jäätymistä patterin jälkeisellä poistolämpötilalla tai mieluiten poistoilmassa olevan patterin yli mitattavalla paine-erolla. Kuviossa 10 on rajoitus tehty nesteen paluulämpötilarajoituksella, vaikka koneessa on poistopatterin paine-erolähetin (PDE02) ja patterin jälkeinen lämpötilamittaus (TE21). Jos huurtumisen esto toteutetaan poistoilman lämpötilalla, on huomioitava, että vaikka poistoilman keskilämpötila olisikin yli $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, voi osa poistoilmasta jäähtyä alle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n. Lisäksi on huomioitava tilan tuottama mahdollinen kosteus poistoilmassa, kun määritellään rajoitusarvoa poistoilmasta. Rajoitusarvo voi olla $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja alhaisempaa rajoituslämpötilaa (myös alle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) voidaan käyttää, jos laitteen valmistaja osoittaa luotettavalla tavalla, että kyseisellä lämpötilalla ei jäätymistä laitteen pinnalle tapahdu.

Poistopatterin paine-eron kasvulla saadaan tieto patterin likaantumisesta tai sen huurtumisesta. LTO:n sulatussäätö voidaan käynnistää poistoilmapatterin paine-eron noustua yli huurtumisraja-arvon. Tällöin lämpötilasäädin pitää LTO-nesteen minimiarvossa, esimerkiksi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa, ohjaamalla suhteellisesti moottoriventtiiliä. Käytännössä tämä tapahtuu ohittamalla tuloilmapatteri kolmitieventtiilillä siten, että neste kiertää enimmäkseen vain poistoilman patterissa.

3.5.4 Lämmönsiirtoneste

Paras lämmönsiirtoneste on vesi, mutta sen korkean jäätymispisteen vuoksi siihen on lisättävä erilaisia jäätymisenestoaineita. Tällaisia ovat perinteisesti olleet eri alkoholien (esimerkiksi etyylialkoholi), glykolin (esimerkiksi etyleeni- ja propyleeniglykoli) tai eri suolojen (esimerkiksi kaliumkloridi) vesiliuokset. Uudempia ovat kaliumasetaatti, kaliumformiaatti ja betaiini (13).

Korroosio-ominaisuuksien lisäksi hyvän lämmönsiirtonesteen ominaisuuksiin vaikuttavat

- viskositeetti
- ominaislämpökapasiteetti
- tiheys
- lämmönjohtavuus.

Viskositeetti ja tiheys vaikuttavat painehäviöön. Nesteen lämmönkuljetuskykyyn vaikuttavat tiheys ja ominaislämpökapasiteetti. Lämmönsiirron tehokkuuteen vaikuttavat viskositeetti, lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti. Lämmönsiirtonesteen varastoima energian määrä lasketaan kaavalla 2:

$$E = cm\Delta t, \quad (2)$$

jossa c on ominaislämpökapasiteetti

m on aineen massa ja

Δt on lämpötilan muutos.

Lämmönsiirtonesteen olisi helpon saatavuuden ja edullisen hinnan lisäksi oltava palamatonta, myrkytöntä ja biologisesti hajoavaa.

3.5.5 Lämmöntalteenoton ongelmat

Lämmöntalteenoton verkostoon kertyy usein ilmaa, joka heikentää huomattavasti hyötysuhdetta. Ilmakuplat voivat aiheuttaa pumpussa kavitaatiota, jolloin staattinen paine laskee imupuolella ja nestekierto lakkaa järjestelmässä. Verkostot ovat varustettuja ilmausjärjestelmillä, mutta näissä on usein virheellisesti käytetty vesipiireihin soveltuvia ilmausjärjestelmiä. Vesipiirien ilmausjärjestelmät eivät sovellu lämmöntalteenoton verkostoon, jossa lämmönsiirtonesteen pakkaskestävyyttä on lisätty. Kiinteistönhuollon on syytä varmistaa, että verkoston ilmausjärjestelmä on sovelias, ja lisäksi on seurattava rakennusautomaationjärjestelmän avulla lämpötilahyötysuhdetta, joka indikoi järjestelmän ongelmista. Kiinteistönhuollon henkilökuntaa on syytä kouluttaa järjestelmien ylläpitoon, koska huoltaminen vaatii ammattitaitoa.

Glykoliverkostojen täyttöastiat ovat kannellisia saaveja, jotka eivät kuitenkaan ole ilmatiiviitä. Tällaisessa astiassa (kuvio 11) olevasta vesiglykoliseoksesta haihtuu ajan myötä vesi pois, jolloin seos väkevöityy. Tällöin lämmönsiirtonesteen ominaislämpökapasiteetti heikkenee.



Kuvio 11. Vesi haihtuu ja seos väkevöityy. (11.)

Jos tällaista seosta pumpataan järjestelmään, sen olemassa olevan nesteen glykolipitoisuus muuttuu suunnitellusta ja täten se voi vaikuttaa hyötysuhteeseen heikentävästi.

Useiden LTO-piirien neste on vanhaa nitriittipitoista pakkasnestettä. Nitriitti on myrkyllistä ja aiheuttaa vuototapauksissa valkoista, partamaista sakkaumaa (kuvio 12).

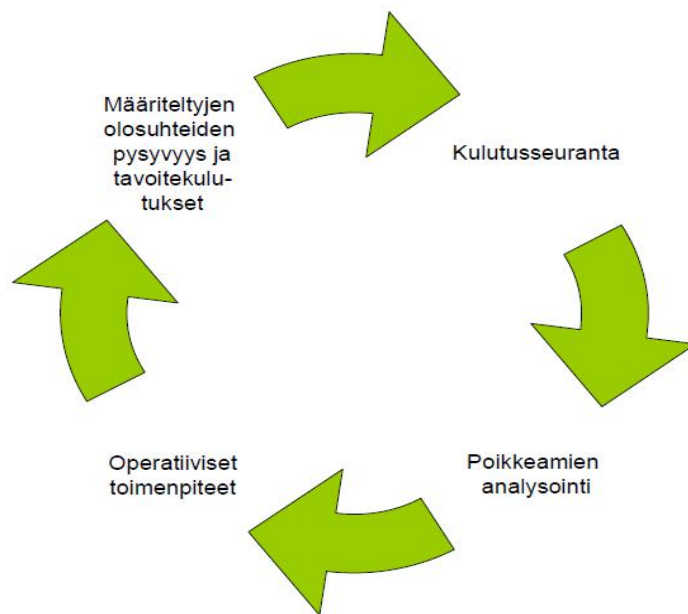


Kuvio 12. Nitriitti tukkii ilmausjärjestelmän (11.)

Nykyaikaisissa, taloteknisiin järjestelmiin suunnitelluissa pakkasnesteissä ei enää käytetä nitriittiä korroosiosuoja-aineena (13).

3.6 Energiankulutuksen seuranta

Energiankulutuksen monitorointi on keskeinen osa rakennuksen energiakäytön tehostamisessa (kuvio 13). Kulutusseurannasta saatujen poikkeavuuksien syyt selvitetään ja tarvittaessa ryhdytään korjaaviin toimenpiteisiin. Toimenpiteissä huomioidaan, että tilojen olosuhteet eivät heikkene ja rakennukselle asetetut tavoitekulutukset saavutetaan.



Kuvio 13. Kulutusseuranta tehostaa rakennuksen energiankäyttöä.

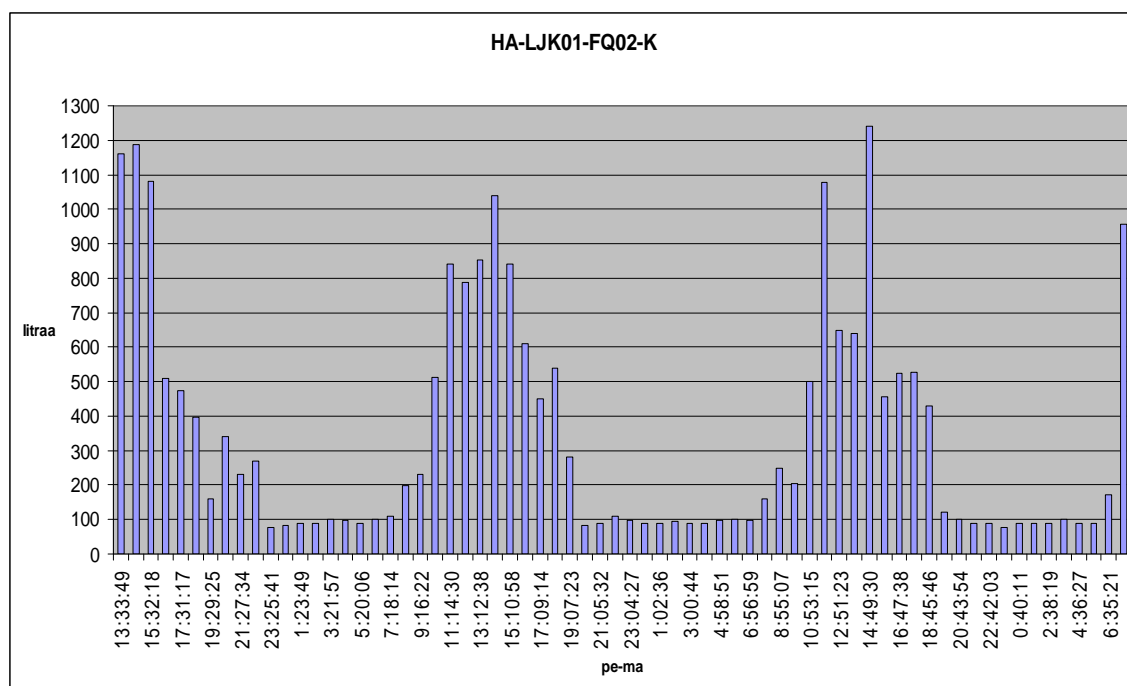
Energiankulutuksen seuranta voidaan liittää rakennusautomaatiojärjestelmiin tai toteuttaa omana järjestelmänä. Kulutuksen seurannan on oltava jatkuvaa, jotta rakennusautomaatiojärjestelmällä voidaan optimoida kiinteistön energiataloudellinen käyttö. Olisi syytä siirtyä tuntiseurantajärjestelmään, sillä nykyinen järjestelmä on liian hidas indikoimaan poikkeavuuksista. Suomessa uusien rakennusten rakentamismääräyksissä (3) edellytetään seuraavien energiamuotojen mittausta:

- koko rakennuksen sähkönkulutus
- koko lämpöenergiankulutus
- lämpimän käyttöveden energiankulutus
- ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus lukuun ottamatta vähäisiä erillispoistoja

- jäähdytysjärjestelmän energiankulutus
- kiinteän valaistusjärjestelmän sähkönkulutuskulutus.

Kaukolämmön-, jäähdytyksen-, veden- ja sähköenergiankulutuksia olisi hyvä seurata tuntitasolla. Sähkönkulutuksen seuranta olisi syytä harkita myös keittiökuormien ja ATK-pistorasiakuormien osalta, koska kulutusseurannalla voidaan todeta laitteiden viikaantuminen.

Nykyaikaiset väyläpohjaiset mittarit tuottavat virheetöntä dataa verrattuna pulssilähtöisiin mittareihin. Täten vesimittarikin kannattaa toteuttaa väyläpohjaisella mittarilla ja liittää rakennusautomaatiojärjestelmään vesivuotojen valvontaa varten. Tuntiseurannan kulutuksen perusteella voidaan tuottaa raportteja (kuvio 14), joista voidaan päätellä mahdolliset vesivuodot.



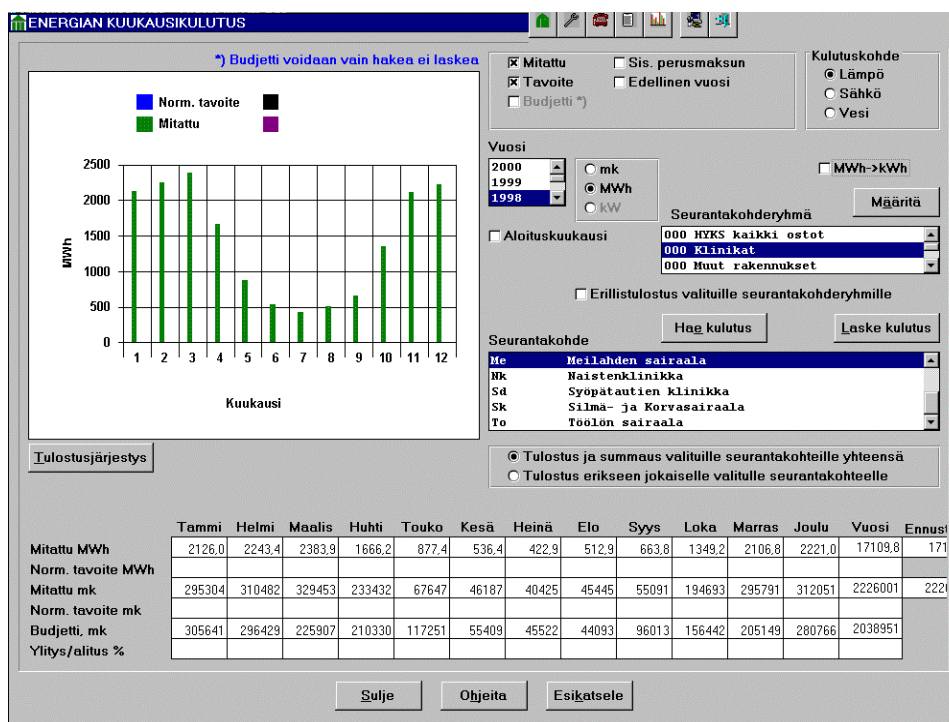
Kuvio 14. Esimerkkirakennuksessa on tuntikulutusseurannan perusteella yöllä noin sadan litran kulutus, joka johtuu vuotavista vesikalusteista.

Rakennusautomaatiojärjestelmään voidaan ohjelmoida hälytyksiä ennalta määriteltujen rajojen ylittyessä. Tällä menetelmällä saadaan piileviä vesivuotoja todettua esimerkiksi vesikalusteista, joita on manuaalisella kuukausiseurannalla vaikea havaita.

HUS-Kiinteistöt Oy on selvittänyt eri keinoja, joilla parantaa energiakulutuksen seurantaa. Eräs selvitysvaiheessa oleva toteutustapa on ostaa energiayhtiöiden etäluentamittareiden mittausdataa, jota voidaan hyödyntää kiinteistön energianhallinnassa esimerkiksi RYHTI-järjestelmän avulla. Tämä data on saatu energiayhtiöiden päämittareista, joten rakennuksen kulutuksen jaottelu on tehtävä rakennukseen lisättävillä erillisillä alamittareilla.

Kiinteistön ylläpidon tietojärjestelmä

RYHTI-järjestelmä on rakennuksen kiinteistönpitoa tukeva kiinteistökohtainen asiakirja ja ohjelmistokokonaisuus. Järjestelmä tuottaa kootusti kiinteistönhoidon, huollon ja kunnossapidon lähtötiedot. RYHTI-järjestelmää käytetään energian seurannassa, kulutuksen analysoinnissa ja raportoinnissa (kuvio 8).



Kuvio 15. Energian kuukausikulutuksen seuranta RYHTI-järjestelmässä.

RYHTI-järjestelmällä hallitaan ennakkuhoollot, huollon historian seuranta ja laitetietokantaa. Käyttöpäiväkirja-, ekstranet- ja HelpDesk-toiminnot sekä dokumenttien hallinta ja säilytys on hoidettu järjestelmän kautta. Itse järjestelmää ylläpidetään ja päivitetään säännöllisesti.

4 Energiakatselmukset ja kuntokartoitukset kohteissa

4.1 Sairaala A

Sairaala A:n tyyppi- ja perustiedot ovat:

Rakennustyyppi:	Sairaala
Rakentamisvuosi:	vaihe 1: 1990 vaihe 2: 1993, sekä osalaajennukset 2005 ja 2007
Rakennustilavuus:	223 030 m ³
Bruttoala:	54 339 m ²

Kohteen kaukolämmön ominaiskulutus vuonna 2010 on ollut 42,3 kWh/r-m³ ja sähkön ominaiskulutus 43,8 kWh/r-m³. Vuonna 2006 julkisten terveydenhoitorakennusten lämmönkulutuksen mediaani on ollut 51,9 kWh/r-m³ ja sähkönkulutuksen mediaani 27,6 kWh/r-m³ (14). Vuonna 2010 HUS-alueen kaikkien kiinteistöjen lämmön ominaiskulutus oli 56,3 kWh/r-m³ ja sähkön ominaiskulutus 38,7 kWh/r-m³.

Kohteessa on kartoitettu kuntotarkastuksessa ja energiakatselmuksessa rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien nykyistä tilannetta ja toimenpidetarpeita. Rakenteiden on todettu olevan tyydyttävällä tasolla.

Energiakatselmuksen mukaan kohteen energian säästöpotentiaali on lämpöenergian osalta 0 % ja sähköenergian osalta 4 %. Yksinkertainen takaisinmaksuaika on kaksi kuukautta.

4.1.1 LVIA-järjestelmät

Lämmitysenergian energiatalouden on todettu oleva hyvällä tasolla. Kohteen ilmanvaihtojärjestelmät on pääsääntöisesti varustettu lämmön talteenotolla. Lämmitysjärjestelmän toiminnallinen taso ja tekninen kunto ovat vähintään tyydyttävää tasoa, eikä merkittäviä verkostovuotoja ole esiintynyt. Verkostot varusteineen ovat pääosin 1990-luvun alkupuolelta, mutta lämmönjakokeskukset on uusittu viimeisen kymmenen vuoden aikana. Termostaattisten patteriventtiilien systemaattinen uusiminen sisältyy kiinteistön kunnossapito-ohjelmaan.

Alkuperäisten vedenjäähdytyskoneiden kunto on tyydyttävää tasoa, ja niiden tekninen käyttöikä alkaa lähestyä loppuaan. Tästä syystä kiinteistössä on käynnistetty hanke vanhempien vedenjäähdytyskoneiden uusimiseksi ja jäähdytyskapasiteetin lisäämiseksi.

Rakennusautomaatiojärjestelmän kunto on systemaattisen ylläpidon ansiosta vähintään tyydyttävää tasoa. Järjestelmän laajuuden vuoksi on kuntokartoituksessa ehdotettu erillistä saneerausselvitystä. (5.)

4.1.2 Sähköjärjestelmät

Sähköenergian ominaiskulutus on Motivan vertailukulutusta sekä HUS-alueen sähkön ominaiskulutusta suurempi. Suureen kulutukseen vaikuttava merkittävä tekijä on sairaalan pitkät käyttöajat. Kohteessa tehdyssä energiakatselmuksessa on ehdotettu, että sairaalan sähköenergiankulutusta ja kustannuksia voidaan pienentää seuraavilla tavoilla:

- valaistuksen tehoa alentamalla
- vaihtamalla elohopealamput monimetallilampuiksi
- säätämällä M-osan valaistuksen aikaohjelmia
- muuttamalla sulanapitolämmityksen asetusarvoja
- ohjaamalla pääaulan valaistusta luonnonvalon mukaan.

Kahden alueella olevan muuntamon ja sähköjakelujärjestelmän todettiin olevan tyydyttävässä kunnossa, eikä niihin kohdistu toimenpidetarpeita. (5.)

4.2 Sairaala B

Sairaala B:n tyyppi- ja perustiedot ovat:

Rakennustyyppi:	Sairaala
Rakentamisvuosi:	1968 (lisäksi useita peruskorjauksia)
Rakennustilavuus:	131 160 m ³
Bruttoala:	39 824 m ²

Kohteen kaukolämmön normitettu kulutus vuonna 2010 on ollut 62,9 kWh/r-m³ ja sähkön ominaiskulutus 36,3 kWh/r-m³ (Vuonna 2006 julkisten terveydenhoitorakennusten lämmönkulutuksen mediaani on ollut 51,9 kWh/r-m³ ja sähkönkulutuksen mediaani 27,6 kWh/r-m³). Vuonna 2010 HUS-alueen kaikkien kiinteistöjen lämmön ominaiskulutus oli 56,3 kWh/r-m³ ja sähkön ominaiskulutus 38,7 kWh/r-m³.

Kohteessa on kartoitettu kuntotarkastuksessa ja energiakatselmuksessa rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien nykyistä tilannetta ja toimenpidetarpeita. Rakenteiden todettiin olevan tyydyttävällä tasolla. Erityisesti on kiinnitetty huomiota ulkoseinien lämmöneristeen määrään, joka on vähäinen nykyvaatimuksiin nähden ja täten ongelma energiatalouden kannalta. Lisälämmöneristystä onkin ehdotettu harkittavaksi tulevilla saneerauksissa tilannekohtaisesti.

Energiakatselmuksen mukaan kohteen energian säästöpotentiaali on lämpöenergian osalta 8 % ja sähköenergian osalta 7 %. Yksinkertainen takaisinmaksuaika lämpöenergialle on kahdeksan kuukautta ja sähköenergialle kuusi kuukautta.

4.2.1 LVIA-järjestelmät

Lämmitysenergian kulutuksen todetaan olevan hyvällä tasolla. Kiinteistön ilmanvaihtokoneista on todettu, että niiden toiminnallinen taso ja kunto vaihtelevat iän mukaan. Kiinteistön energiataloutta heikentää saneeraamattomien, vanhimpien rakennusosien ilmanvaihdosta pääosin puuttuva lämmön talteenotto. Lämmön talteenoton puuttumisen vaikutusta korostaa merkittävästi rakennusten käyttötarkoituksesta aiheutuva käytännössä jatkuva ilmanvaihtokoneiden käyntitarve. Ilmanvaihdon lämmityksen osuus on laskennallisesti suuri; melkein 60 % koko kiinteistön lämmön kulutuksesta.

Suuri osuus johtuu rakennuksen ilmanvaihdon pitkistä, osin jatkuvista käyttöajoista, suurista ilmamääristä sekä erityisesti vanhimmista toimenpideosaston, talousosaston sekä potilassiiven ilmanvaihtokoneista puuttuvista lämmön talteenotoista. Ilmanvaihdon lämmitysosuudesta arviolta 3 000 MWh tapahtuu ilmanvaihtokoneissa, joissa ei ole lämmön talteenottoa. Tästä osuudesta hyötysuhteeltaan normaalilla (45 %) lämmön talteenotolla olisi saavutettavissa noin 1350 MWh:n lämmönsäästöt (13 % kokonaislämmönkulutuksesta). Rakentamalla lämmöntalteenottojärjestelmät vanhojen ilman-

vaihtokoneiden peruskorjausten yhteydessä saavutettaisiin merkittäviä säästöjä, jolloin kohteen ominaiskulutus vähenisi merkittävästi.

Lämpöenergian kulutusta on mahdollista pienentää muun muassa. ilmanvaihdon käyntiaika- ja ohjausmuutoksien. Tarpeen mukaisten käyntiaikojen noudattaminen on energiatalouden kannalta olennaista eritoten niissä tiloissa, joita palvelevat vanhat lämmöntalteenottoa vailla olevat ilmanvaihtokoneet.

Käytännössä kaikkia rakennuksia ja niiden tiloja lämmitetään vesikiertoisilla pattereilla, jotka on varustettu pääosin vaihtelevan ikäisillä termostaattiventtiileillä. Ongelmana ovat lähinnä vaihtelevat lämpötilat, jotka indikoivat vanhojen patteriventtiilien heikentynyttä toimintaa sekä vanhojen rakennuksien vaihtelevaa eristystasoa ja kuntoa. Osa lämpötilojen vaihtelusta johtuu tilakohtaisesti ilmanvaihdon kautta säädettävissä olevista asetuksista (5). Pudottamalla asteella tilan lämpötilaa vähennetään 5 % kyseisen tilan lämpöenergian kulutusta.

Rakennuksen höyryverkosta on todettu, että sen pääkäyttö on nykyisin keittiössä. Höyryn käyttö on laskenut merkittävästi alkuperäistilanteesta, koska esimerkiksi aikanaan käytössä ollut pesula on lopettanut, autoklaaveja ja muita höyrylaitteita on muutettu sähköisiksi eikä ilmanvaihtokoneissa olevia lukuisia kostuttimia käytetä. Höyryverkossa on täten lukuisia tarpeettomia linjoja, joissa käytännössä tapahtuu vain turhia lämpöhäviöitä. Nykyinen höyryjärjestelmä on siis ylimittainen ja toimii energiatalouden kannalta puutteellisesti. (5.)

Sairaalan rakennusautomaatiojärjestelmän todettiin toimivan suunnitellusti ja edesauttavan kiinteistön järjestelmien energiataloudellista käyttöä ja helpottavan huoltohenkilökunnan päivittäistä toimintaa.

4.2.2 Sähköjärjestelmät

Sähkönkulutuksesta todetaan, että suurimmat säästöt voidaan saavuttaa LVI-laitteiden ja sisävalaistuksen ohjauksessa. Kohteen kuormituksen on todettu olevan arkipäivinä ja lauantaisin enintään 820 kW ja pyhäpäivinä enintään 600 kW. Talvella peruskuormitus on ollut keskimäärin 50 kW suurempi kuin kesäkaudella. Kuormitushuiput ovat ajoittu-

neet puolen päivän aikaan. Yöaikainen kuormitus on ollut kesäaikana noin 470–500 kW ja talviaikana noin 510–540 kW. Yöaikaisen kuormituksen on todettu johtuvan pääosin ilmanvaihtolaitteista, sähkölämmityksistä sekä päälle jääneestä valaistuksesta. Säästötoimenpiteinä on ehdotettu hehkulamppujen korvaamista kierrekantaisilla pienloistelampuilla asentamalla poliklinikan ulkovalaistus hämäräkytkinohjaukseen, muuttamalla ajoluiskan sulanapitolämmityksen ohjaustapaa ja opastamalla sairaalahenkilökuntaa välttämään tilojen valaistuksen tarpeetonta käyttöä. Lisäksi on todettu, että ilmanvaihtoon kohdistuvilla aikaohjelmamuutoksilla saavutetaan myös sähkönsäästöä.

Kiinteistössä todettiin yhä olevan käytössä noin 730 nimellisteholtaan 40–75 watin hehkulamppua, jotka olisi mahdollista korvata kierrekantaisilla pienloistelampuilla. Kohteen hehkulamppujen yhteenlaskettu liitäntäteho on noin 41 kW, ja niiden sähkönkulutukseksi on arvioitu 95 MWh vuodessa. Pienloistelamppu kuluttaa noin 80 % vähemmän sähköenergiaa kuin vastaavan valovirran tuottava hehkulamppu. Toimenpiteen säästöpotentiaaliksi voidaan laskea noin 76 MWh vuodessa ja takaisinmaksuajaksi kuusi kuukautta. (5.)

5 Talotekniikan toimivuuden ja energiatehokkaan käytön auditointi

5.1 Auditointituloksista yleisesti

Kohteissa tehtyt energiakatselmukset olivat lähtökohtana päätettäessä tehdä vuoden 2011 lämmitys- ja jäähdytyskausien aikana kuuteentoista sairaalakiinteistöön auditointi rakennusautomaatiojärjestelmien valvomoiden kautta. Tiedossa oli, että HUS-alueiden sairaaloissa ei ole tehty rakennusautomaatiojärjestelmille varsinaista vuosihuoltoa kuten ilmanvaihtojärjestelmille. Tästä syystä auditoinnin tavoitteena oli varmistaa sairaalan rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyn talotekniikan toimivuus ja sen energiatehokas käyttö:

- Varmistetaan, että kohteen talotekniset järjestelmät toimivat oikein ja luotettavasti.
- Varmistetaan, että niitä käytetään oikein lämmitys- ja jäähdytyskaudella.
- Parannetaan taloteknisten järjestelmien toimivuutta ja energiatehokkuutta.
- Seurataan ja analysoidaan energiakulutuksen toteutumista ja kehittymistä ja parannetaan kohteen energiatehokkuutta.
- Varmistetaan, että tilojen sisäilman olosuhteet pysyvät hyvinä ja sovitulla tasolla.
- Tuotetaan tietoa havaituista poikkeamista ja epäkohdista toimenpideehdotuksineen.
- Arvioidaan kohteen mahdolliset muut rakennusautomaatioon liittyvät perusrannustarpeet ja -toimenpiteet.
- Tarvittaessa tuetaan kohteen käyttö- ja ylläpitohenkilöstöä talotekniikan käytössä paikalliskoulutuksella.

Auditointiraportit laadittiin kohteiden kulutustietojen, rakennusautomaatiojärjestelmän seurannan ja kiinteistön henkilökunnan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella. Tehtäväksi konsulteille annettiin:

- kohteen kulutustietojen (lämpö, sähkö, vesi, höyry) seuranta ja analysointi RYHTI-järjestelmän kulutustietojen pohjalta
- keskustelut käyttö- ja huoltohenkilöstön kanssa

- taloteknisten järjestelmien toimivuuden ja energiataloudellisen toiminnan arviointi lämmityskauden ja jäähdytyskauden aikana rakennusautomaatiojärjestelmän valvomosta hyödyntäen järjestelmän grafiikkakuvia, trendiseuranta-, olosuhdeseuranta- ja hälytysseurantatietoja
- tavoitekulutuksen arviointi, sekä saneerausten ja investointien huomiointi tavoitteessa
- yhteenvetoraportin (auditointiraportin) laatiminen lämmitys- ja jäähdytyskauden tilanteista (sisältäen listattuna kymmenen yleisintä hälytystä sekä eniten hälyttäneet laitteet) sekä auditointien aikana tehdyistä havainnoista ja epäkohdista toimenpide-ehdotuksineen jatko- ja korjaustoimenpiteitä varten
- arvio kohteen mahdollisista muista rakennusautomaatioon liittyvistä perusrannustarpeista ja -toimenpiteistä.

Saatujen raporttien perusteella yleisellä tasolla todettiin, että kaikissa kiinteistöissä oli mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseen pienillä töillä. Kulutustasoissa oli eri sairaaloiden välillä vaihtelua, kuten talotekniikan toimivuudessakin. *Vähäisiä investointeja* (ns. 0-investointeja) vaativia suositeltavia toimenpiteitä olivat seuraavat:

- IV-kojeiden aikaohjelmat on muokattava tilojen käytön mukaan.
- Ennen lämmityskautta IV-kojeiden LTO-järjestelmien toiminnot tulisi tarkastaa.
- Asetusarvot tarkastettava, koska tällä hetkellä osassa sairaalarakennuksista sisätiloja lämmitetään tuloilmalla (tuloilman maksimiasetusarvot 24–26 °C).
- Tilojen radiaattoripatterien toiminta tulisi tarkastaa, koska on osaksi havaittavaa ristiriitaista toimintaa tuloilman minimiasetusarvojen kanssa.
- Joissain sairaalarakennuksissa havaittiin lämmityksen ja jäähdytyksen päällekkäistä toimintaa, jotka tulisi selvittää ja korjata.
- Tilojen käyttäjiä tulisi ohjata käyttämään järjestelmiä energiatehokkaammin ja heidän koulutuksen lisäystä painotetaan.

Tällä hetkellä useissa tiloissa on lisäaikakytkimiä, joilla pidetään ilmastointia jatkuvasti käynnissä. Vaihtoehtona olisi kytkimien muuttaminen ajastimiksi tai läsnäolotunnistimien lisääminen tiloihin.

Tulevissa korjauksissa (PTS) tulisi huomioida mahdollisuudet varustaa kaksisnopeuspuhaltimet taajuusmuuttajilla, jotta tarpeenmukainen ohjaustapa voidaan toteuttaa tehokkaammin. Mikäli kohteen IV-puhaltimia jo tällä hetkellä ohjataan taajuusmuuttajilla, olisi selvítettävä mahdollisuudet säätää ilmamääriä CO₂-pitoisuuden mukaan (tarpeenmukainen käyttö). Lisäksi tulisi harkita IV-kojeiden varustamista LTO-järjestelmillä niiltä osin, joissa sitä ei vielä ole toteutettu. Rakennusautomaatiojärjestelmistä todettiin, että joissain sairaalakohteissa on vanhaa alakeskustekniikkaa, joka tulisi saneerata uudempaan luotettavan toiminnan varmistamiseksi (5).

5.2 Auditointitulokset sairaala A:ssa

Sairaala A:ssa suoritettussa rakennusautomaatiojärjestelmän auditoinnissa havaittiin, että talotekniikan toiminta on pitkälti tavoitteiden mukaista, mutta joitain ristiriitaisuuksia löytyi. Sairaalan sisäilman olosuhteet ovat pääosin tyydyttävällä tasolla. Ilmastoinnista todettiin, että sairaalassa on useita kojeita, joita pidetään päällä aikaohjelmalla aina, vaikka tilojen käyttö ei tätä vaadi. *Aikaohjelmat on muokattava seuraamaan tilojen oikeaa käyttötapaa (mm. fysiatrian osasto, kipuosasto, laboratoriotilat, hallinto- ja toimistotilat, apteekki, psykiatrian poliklinikka, kahvila- ja ruokalatilat, arkistot, keskusvarasto).* Tarvittaessa tiloihin asennetaan lisäaikakytkimet, jotta tilat saadaan tarvittaessa ilmastoitua käyttöajan ulkopuolella. On myös tiloja, joissa on lisäaikakytkimiä asennettuna, mutta käyttäjät eivät osaa käyttää niitä. Käyttöhenkilökuntaa olisi opastettava kytkimien käyttöön, jotta ilmanvaihdon ei tarvitse olla jatkuvasti käynnissä. Esimerkiksi leikkaussaleista suositeltiin ilmastoinnin tehostuksen päälle/pois-kytkimien vaihtamista kellotyyppisiin lisäaikakytkimiin, koska henkilökunta unohtaa kytkimet tehostusasentoon. Seuraavassa on listattuna esimerkkejä lämmitykseen ja ilmastointiin liittyvistä havainnoista:

- Tarkkaamohuoneen lämmityksen toiminta on tarkistettava, tilassa yli +24 °C.
- E-osan TK6.1 (laboratorio, näytteenotto ja toimistotilat) patterien toiminta on tarkistettava.
- Sanelutilan E1016 lämpötila nousee yli +23 °C, vaikka jäähdytyksen pitäisi olla 100 %:n käytöllä. Jäähdytyksen toiminta on tarkistettava, onko toiminta kiinni ulkolämpötilasta.

- Puhallinkonvektorihuoneissa A1001, A1014, A1009 halutaan asetusarvojen mukaan noin $+25^{\circ}\text{C}$, mutta lämpötila ei nouse. Lämmitysten toiminta ja asetusten tarkoituksenmukaisuus on tarkistettava.
- C1050.2-tilan lämmityksen ja jäähdytyksen toiminta on tarkistettava, koska tällä hetkellä asetusarvo ja mittaus poikkeavat huomattavasti toisistaan.
- Ryhmäliikuntatila Angion tuloilman asetusarvo on $+25^{\circ}\text{C}$. Ilmanvaihdon lämmittäminen ei ole energiatehokasta, joten tilan patterilämmityksen toiminta on tarkistettava.
- M312-kojeen neuvottelutilojen jälkilämmityksen säätö on tarkistettava, säätö vaikuttaa tehottomalta.
- Kirurgian poliklinikan tiloihin puhallettiin seurantahetkellä $+18^{\circ}\text{C}$ ilmaa. Miten tilojen jälkilämmityspatterit on asetettu? Tällä hetkellä tuloilmaa lämmitetään ja jäähdytetään samanaikaisesti.
- 355-kojeen jälkilämmitysten asetusarvojen tarkoituksenmukaisuus on tarkistettava. Tällä hetkellä pyritään lämmittämään tuloilma $+25^{\circ}\text{C}$.
- IV-kojeiden säätötapoja tulisi tarkistaa niiltä osin, joissa on jälkisiä säätöjä.

Tällä hetkellä kaikissa kojeissa ei jälkisiä säätöjen toimintaa oteta huomioon etusäädön toiminnassa ja tämä voi johtaa samanaikaiseen jäähdytykseen ja lämmitykseen. Myös lämmöntalteenottojärjestelmissä havaittiin ongelmia: useiden lämmöntalteenottojärjestelmien hyötysuhteet olivat heikot. Tästä syystä huoltohenkilöstöä kehoitettiin tarkastamaan järjestelmän lämmönsiirtonesteen kierto, venttiilin toiminta sekä nesteen soveltuvuus järjestelmissä. Myös verkostopaineista löytyi myös huomautettavaa:

- M-osan IV-verkoston painesäädön asetuksen tarkoituksenmukaisuus on tarkistettava, taajuusmuuttaja käy 100 %:sesti, mutta asetusta ei saavuteta.
- M-osan 401-jäähdytyskojeen puhallinkonvektoriverkoston painesäädön asetuksen tarkoituksenmukaisuus on tarkistettava, taajuusmuuttaja käy 100 %:sesti, mutta asetusta ei saavuteta.
- K-osan patteriverkoston ja jälkilämmitysverkoston paine-asetusten tarkoituksenmukaisuus on tarkistettava, koska tällä hetkellä pumppu on täydellä 100 %:n käytöllä, mutta asetusarvoa ei saavuteta.

Leikkaussaleista todettiin, että saleihin vaikuttavien pääkojeiden säätötoimintoja muokkaamalla voidaan estää päällekkäisiä lämmitys- ja jäähdytystoimintoja ja selkeyttää kojeiden säätöprosessia. Lisäksi yhdessä salissa oli kuivatustoimintoasetus jätetty päälle leikkaussalin asetusarvotaulusta. Kuivatustoiminto on erittäin kallista, sillä tuloilmaa jäähdytetään ja tämän jälkeen taas lämmitetään, jotta ilman kosteus olisi salin henkilökunnan asettaman asetusarvon mukaista.

Sähköenergian säästämiseksi todettiin, että sähkölämmitykset on asetettu lämmittämään välillä $-5... +5$ °C. Muuttamalla käyntirajat välille $-5... +2$ °C saavutetaan ohjauksen osalta säästöä sähkönkulutuksessa. Sadevesikourujen saattolämmityksien ja sulatusohjauksien käyttöä on tapauskohtaisesti harkittava, koska niiden toiminnot eivät ole vastanneet odotuksia.

Investointeina (PTS) ehdotettiin, että useiden IV-kojeiden toimintoja voidaan ohjata energiatehokkaimmiksi CO₂-antureiden lisäämisellä ja muuttamalla puhallinohjaukset taajuusmuuttajaohjaukseksi. Tilojen ilmamäärätarpeet olisi kartoitettava tätä ennen. Sisävalaistuksissa olisi harkittava liiketunnistinohjauksia niiden tilojen osalta, joissa käyttö ei ole jatkuvaa. Kiinteistössä on jo käytössä liiketunnistinohjauksia tiettyjen alueiden valaistuksissa, kuten esimerkiksi sosiaali-tiloissa.

5.3 Auditointitulokset Sairaala B:ssä

Sairaala B:ssä suoritettussa rakennusautomaatiojärjestelmän auditoinnissa havaittiin vastaavia ongelmia kuin sairaala A:ssa. Kiinteistötekniisten laitteiden toiminnan todettiin olevan pääosin tavoitteiden mukaista. Kuten muissakin sairaalarakennuksissa todettiin, energian käyttöä voidaan ohjata energiatehokkaammaksi aikaohjelmia ja asetusarvoja muokkaamalla.

Sairaalan sisäilman todettiin olevan tyydyttävällä tasolla. Kohteessa on useita kojeita, joita pidetään päällä aikaohjelmalla jatkuvasti, vaikka tilojen käyttö ei tätä vaadi. Vastaavia sairaala A:n lisäaikakytkimien käyttöongelmia löytyi myös kohteesta B. Sairaala B:ssä oli merkittävä määrä kenttälaitteita rikki. Lisäksi löytyi huomattava määrä valvomosta käsin aseteltuja ohjauksia, venttiilejä ja asetusarvoja. Käsiasetuksilla estetään

rakennusautomaatiota toteuttamasta niitä toimintoja, jota varten se on luotu. Auditoinnin havaintoja olivat esimerkiksi seuraavat:

- A-osalla, jossa lämpötilaseurannan perusteella on ollut kohteen korkeimmat ta-saiset lämpötilat, voidaan harkita mahdollisuuksien mukaan sisäänpuhallusilman lämpötilan asetusten laskemista energiatehokkuuden parantamiseksi.
- PO-TK06 hissikonehuoneen kiertoilmakojeen pellit on tarkistettava. Ilman läm-pötila nousee vaikka pitäisi olla 100 % raitisilmalla.
- TO EK-01 esilämmitysten ja jälkisäätöjen toiminta on tarkastettava. Tällä het-kellä esikäsittelystä tulee lämpötilaltaan +12 °C olevaa ilmaa, jota kuitenkin joudutaan jäähdyttämään osalla kojeista (TK09, TK10). Mikä lämmittää ilman kanavassa?
- TO-TK04 lämmityspatterin venttiilin toiminta on tarkistettava, lämmitysteho on todella alhainen.
- Grafiikkaan tulisi lisätä rakennusosittain *koontikuvia*, joista kiinteistöhuollon on tehokkaampaa ja helpompaa seurata järjestelmien (IV-, lämmitys- ja jäähdytys-järjestelmät) toimintaa.
- Lämmitysverkostojen säätöjä on viritettävä, selkeää huojuntaa on havaittavissa.

Kohteessa on ongelmana energiatalouden kannalta lämmöntalteenoton puute vanhim-missa koneikoissa, huonolla hyötysuhteella toimivat puhallinmoottorit sekä niiden ohja-usten puutteellisuus. Esimerkiksi toimenpideoaston pukuhuonetiloja ja sosiaalitiloja palvelevan koneikon (TO-TK13) varustamista nestekiertoisella lämmöntalteenotolla ehdotetaan helpon toteutettavuuden ja energiatehokkuuden parantamiseksi.

Patteriverkostojen pumput käyvät pääosin ympäri vuoden. Pumpuille olisi energiatalouden kannalta suositeltavaa asetella esimerkiksi ulkolämpötilasta riippuvaiset käynti-rajat, jolloin kesäaikana pumppujen käynti vähenisi merkittävästi.

Investointeina ehdotettiin vastaavasti kuin sairaala A:ssa, että IV-kojeiden toimintoja voidaan ohjata energiatehokkaimmiksi CO₂-antureiden lisäämisellä ja muuttamalla pu-hallinohjaukset taajuusmuuttajaohjaukseksi. Sisävalaistuksissa olisi myös harkittava liiketunnistinohjauksia niihin tiloihin, joissa käyttö ei ole jatkuvaa.

6 Auditoinnin toteutustoimenpiteet

6.1 Auditointitoteutukset sairaala A:ssa

Sairaalan A toteutustoimenpiteet aloitettiin elokuun lopussa 2011. Käyttöhenkilökunnan kanssa selvitettiin myös ongelmia, joita ei esitetty raportissa mutta jotka olisi syytä ottaa huomioon. Rakennuksen alakeskusten ja valvomon väliset vanhat tiedonsiirtomenetelmät olivat aiheuttaneet usein katkoksia. Tällaisissa tapauksissa ongelmana on kriittisten hälytysten välittyminen päivystäjälle ja prosessien kannalta valvomon kautta siirtyvien globaalitietojen muutosten päivittyminen. Asia varmistettiin valvomon tiedonsiirtohistorian keräämästä datasta, josta ilmeni useita tiedonsiirtohäiriöitä sekä hidas kierrosaika (kulunut aika sekunneissa, kun päivitetään kaikkien alakeskusten tiedot valvomoon).

Ongelmina olivat alakeskukset, joiden aliväylässä oli muita alakeskuksia. Näistä syistä päädyttiin päivittämään tiedonsiirtoväylien tekniikkaa ja väyläkaapelointia, jotta sairaalaan häiriötön toiminta saataisiin varmistettua. Tiedonsiirto toteutettiin TCP/IP-protokollalla ja vähintään Cat 5-luokan parikaapelilla. Alakeskusväylä saatiin näillä toimenpiteillä lähes virheettömäksi, ja kierrosaika putosi kolmasosaan alkuperäisestä. Väyläkaapeloinnin yhteydessä paranneltiin alakeskusten puutteellisia maadoituksia lisäämällä maadoituskaapeli TE-kiskon ja potentiaalitasauskiskon välille. Tällä toimenpiteellä poistettiin alakeskuksien häiriöherkkyyttä. Kaikkiin alakeskuksiin suoritettiin huolto, joka sisälsi seuraavat toimenpiteet:

- muistiakun vaihto
- varmuuskopiointi
- häiriölokin tarkastus
- teholähteiden jännitetaso tarkistus
- liitosten kireyden tarkistus.

Lisäksi tehtiin IV-kojeiden jäätymissuojien testaus, jossa tarkastettiin lämmityspatterin paluuveden mittausta, tulo- ja poistokanavien peltien toiminta sekä puhaltimien lukitukset.

M-osan IV-kojeisiin (11 kpl) tehtiin lämmityssäädön ohjelmaan muutos. Koneikoissa on jälkilämmityspatterit, joilla jokaisella on kaskadisäädin tilan huonelämpötilasta. Tuloilmakone ei ottanut huomioon eri tilojen vaihtelevia lämpötiloja, vaan tuloilman asetusarvo saatiin poistoilman kaskadisäädöstä. Muutosohjelmassa vertaillaan jälkilämmitysten säätimien asetusarvoja ja otetaan niistä pienin asetusarvo tulokoneen lämpötilasäätimen asetusarvoksi. Tällöin ei tulokoneella lämmitetä turhaan, vaan jälkilämmitykset hoitavat tarvittavan lämmityksen.

Ohjelmiin tehtiin asetusarvomuutoksia, esimerkiksi saattolämmityksien käyntiasetusarvoja laskettiin, tuloilman lämpötiloja rajoitettiin ja jälkilämmityspiirien asetusarvoja laskettiin. Kaikilla näillä toimenpiteillä vaikutetaan energiankulutukseen. Ohjelmointivirheitä korjattiin, kuten esimerkiksi K-osan 14TK:n lämmityssäädön lämmöntalteenoton toiminta, jossa väärin ohjelmoitu huurtumisen esto piti LTO:n venttiiliä kiinni.

Kolmen vedenjäähdytyskoneen vuorotteluohjelmassa oli puutteita, jolloin koneissa oli päällekkäistä käyntiä. Ohjelmamuutoksilla saatiin jäähdytyskoneiden tehonkäyttö optimoitua järkeväksi energian käytön kannalta.

Sairaala A:ssa rakennusautomaatiojärjestelmää ylläpitävä käyttöhenkilökunta oli huoltanut järjestelmää, eikä rikkinäisiä kenttälaitteita löytynyt. Ohjelmien muutokset olivat optimointitoimenpiteitä, joita ei voitu tehdä henkilökunnan toimesta. Valvomotyöskentelyä helpottamaan lisättiin IV-koneiden koontikuvia ja lisättiin linkkejä, joilla voidaan listata nopeasti esimerkiksi kaikki käsin asetetut ohjauspisteet.

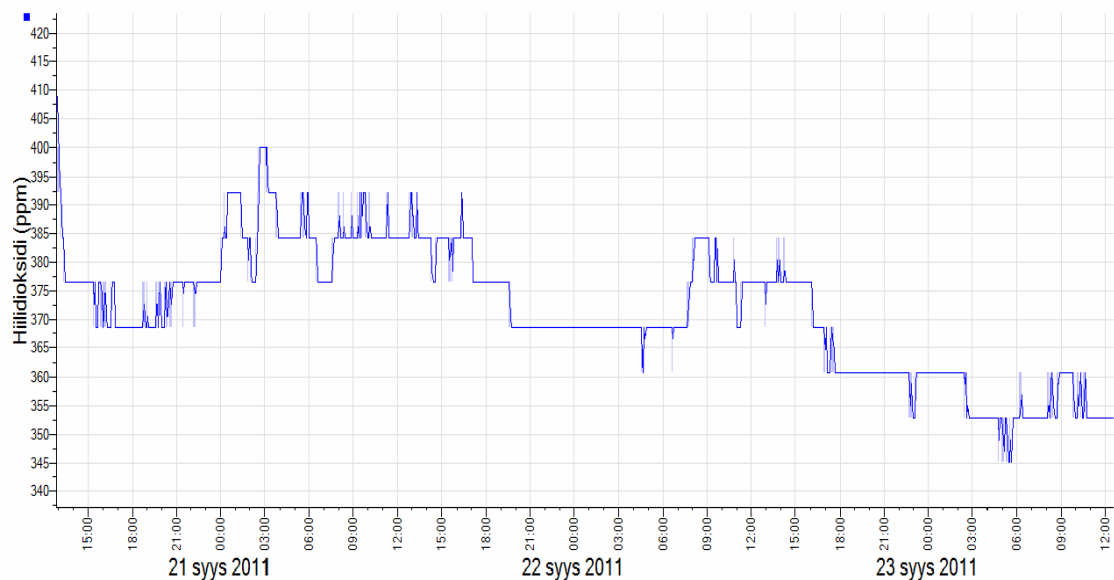
6.2 Auditointitoteutukset sairaala B:ssä

Sairaalan B toteutustoimenpiteet aloitettiin elokuun alusta 2011. Merkittävää oli rikkoutuneiden kenttälaitteiden määrä. Sairaalassa vaihdettiin useita peltimoottoreita, yksikösäätimiä, lämpötila-antureita, paine-antureita ja viallisia taajuusmuuttajia. Alakeskuksiin vaihdettiin rikkoutuneita tuulettimia muuntajiin, viallisia moduulikortteja sekä väyläkortteja. Lämmitysverkostoihin uusittiin vialliset venttiilit ja toimilaitteet sekä tehtiin säädön viritykset. Ristissä olevia tilatietoja korjattiin, lisättiin mittauksia, kuitattiin lauenneita lämpösuojia, puhdistettiin puhaltimia, asennettiin useita lisäaikapainikkeita aikaohjelman ulkopuolista käyttöä varten. Leikkaussalien painesäädöt ja taajuusmuut-

tajien toiminnot tarkistettiin. Aikaohjelmia muutettiin teknisissä tiloissa, psykiatrinen potilaiden tiloissa sekä toimistotiloissa. Näihin koneikkoihin tehtiin muutoksia lämmityspatterin paluusäätöön ja taajuusmuuttajiin parametroitiin käynnistys- ja sammutusrampit, jotta koneikon jäätymissuoja ei laukea pakkasella käynnistyessä.

Useaan koneikkoon tehtiin lämmityssäädön ohjelmiin muutoksia. Ohjelmavirheistä johtuen ilmaa sekä lämmitettiin että jäähdytettiin. Lisäksi jälkilämmityspattereiden alin asetusarvo muutettiin myös tulokoneen lämpötilasäätimen asetusarvoksi, jotta tulokoneella ei lämmitetä turhaan, vaan jälkilämmitykset hoitavat tarvittavan lämmityksen.

Dialyysiosaston iv-kojeen poistokanavan hiilidioksidipitoisuutta seurattiin tallentavalla hiilidioksidimittarilla (kuvio 16). Sisäilman CO₂-pitoisuus on hyvä sisäilman laadun mittari, ja kohonnut pitoisuus kertoo huonosta sisäilman laadusta. Sisäilmastoluokitus vuodelta 2008 (15) rajaa hiilidioksidin enimmäisarvon korkeimmassa S1-luokassa 750 ppm:ään ja S2-luokassa 900 ppm:ään. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (7) D2 2012 sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ylärajaksi tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana määritellään enintään 1200 ppm.



Kuvio 16. Tilan hiilidioksidipitoisuuden seuranta tuntitasolla.

Seurannassa kävi ilmi, että koneen ilmamäärää voidaan ohjata poistonilman CO₂-pitoisuudella. Tilan poistoilman kanavaan asennettiin CO₂-anturi ja kojeeseen ohjelmoi-

tiin hiilidioksidin määrää seuraava puhaltimien nopeusohjaus: kun poistokanavassa hiilidioksidipitoisuus nousee, IV-kojeen pyörintänopeus kasvaa ja ilmamäärä lisääntyy tilassa painesuhteen pysyessä muuttumattomana. Pitoisuuden laskiessa toiminto on vastakkainen.

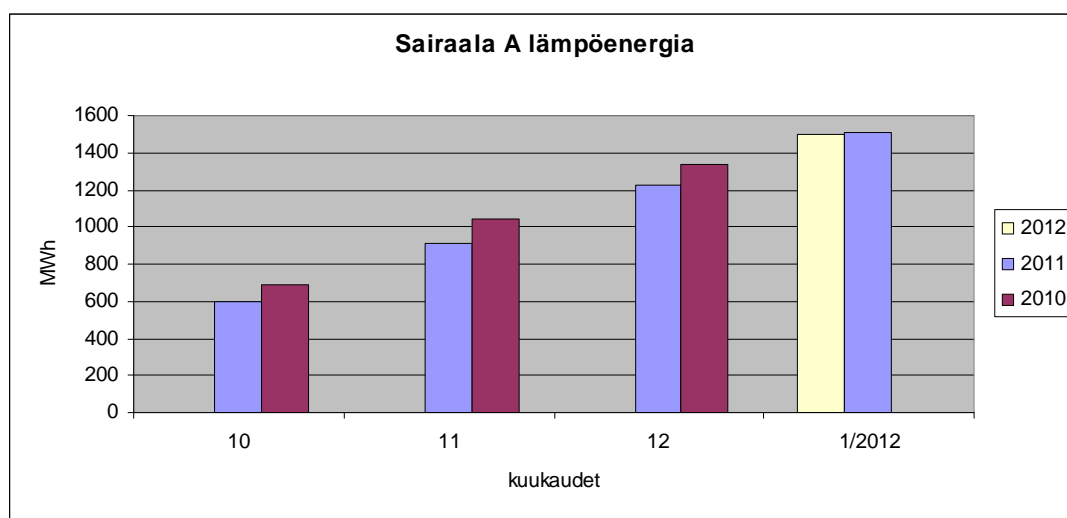
A-osan alakeskuksissa oli sähkönsyötön jännitepiikkien aiheuttamia vikoja, joten sähkönsyötölle tehtiin käynnistysviive vetohidasteisella aikareleellä sähkökatkoksen jälkeiselle syötön kytkeytymiselle. Tällöin verkkoon kytkeytymisen yhteydessä aiheutuvat mahdolliset jännitepiikit eivät pääse aiheuttamaan alakeskuksiin vaurioita.

7 Tulokset

Tässä opinnäytetyössä seurantaan valittiin kaksi sairaalakiinteistöä (A ja B), joissa toimenpiteitä toteutettiin valittujen urakoitsijoiden kanssa elo- ja syyskuussa 2011. Energiankulutuksen seurantajakso aloitettiin lokakuun alusta 2011 ja lopetettiin tammikuun lopussa 2012. Neljän seurantakuukauden sähkön ja lämmön kulutuslukemat saatiin kiinteistöissä olevan RYHTI-järjestelmän tuottamien energianseurantatietojen avulla. Lämmitysenergian kulutus on normitettu, eli sään vaihtelu on otettu huomioon, jotta vertailuperusteet täyttyvät.

7.1 Sairaalan A lämpöenergia

Seurantajakson aikana (kuvio 17) sairaalan A normitettu lämpöenergian kulutus laski 7,7 %. Lämpöenergiaan kulutus oli vuoden 2011 alusta syyskuuhun asti pysynyt samalla tasolla, kuin vuoden 2010 vastaavana aikana (+0,3 %).

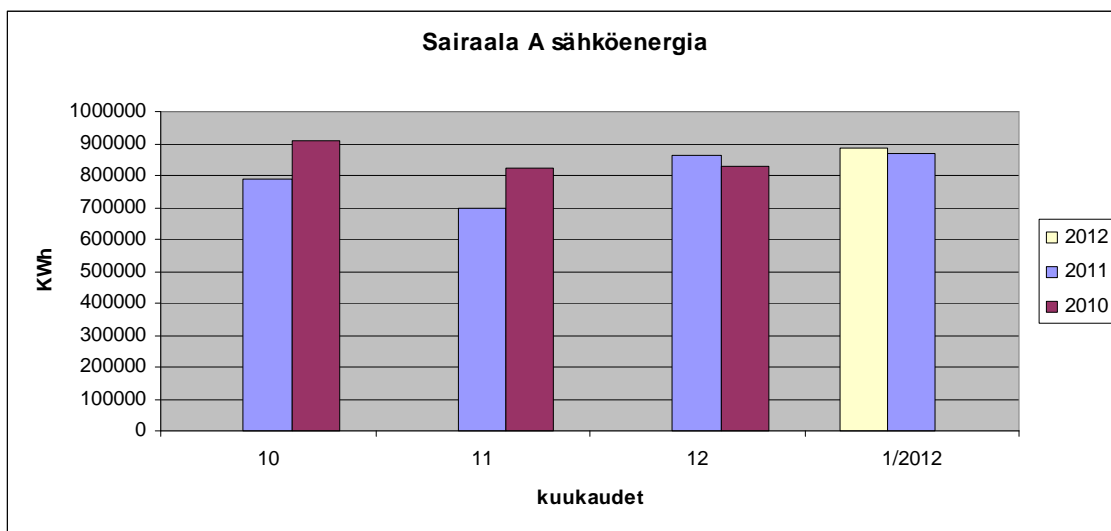


Kuvio 17. Sairaalan A lämpöenergian kulutusvertailu edelliseen vuoteen.

Kokonaisuudessaan vuoden 2011 lämpöenergian kulutus sairaala A:ssa väheni edelliseen vuoteen verrattuna 3,5 % (liite 2) ja ominaiskulutus vuonna 2011 oli 40,8 kWh/r-m³, kun se vuonna 2010 oli 42,3 kWh/r-m³.

7.2 Sairaalan A sähköenergia

Seurantajakson aikana (kuvio 18) sairaalan A sähköenergian kulutus väheni 5,8 %. Sähköenergian kulutus oli vuoden 2011 alusta syyskuuhun asti vähentynyt 2,6 % verrattuna vuoden 2010 vastaavaan aikaan.

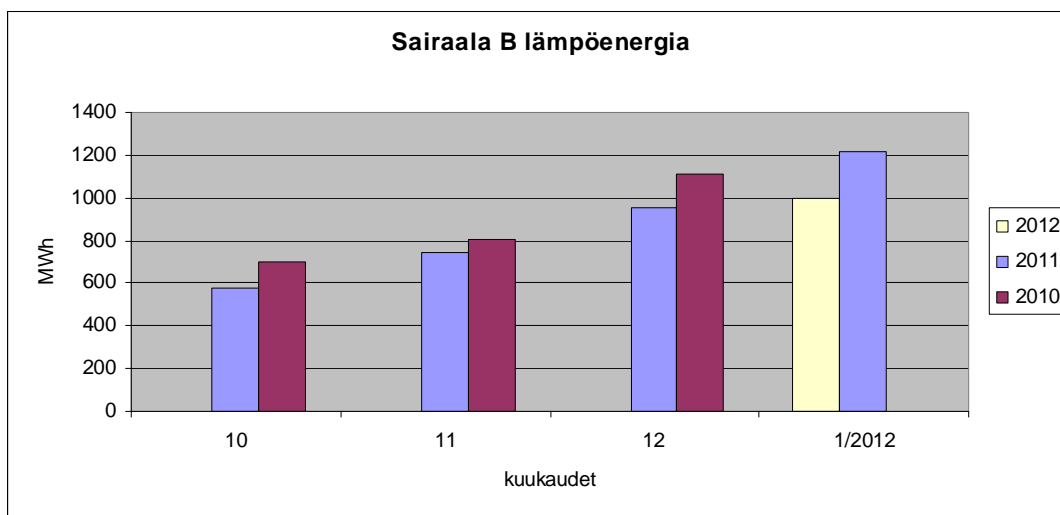


Kuvio 18. Sairaalan A sähköenergian kulutusvertailu edelliseen vuoteen.

Kokonaisuudessaan vuoden 2011 sähköenergian kulutus sairaala A:ssa väheni edelliseen vuoteen verrattuna 4,2 % (liite 2) ja ominaiskulutus vuonna 2011 oli 42,0 kWh/r-m³, kun se vuonna 2010 oli 43,8 kWh/r-m³.

7.3 Sairaalan B lämpöenergia

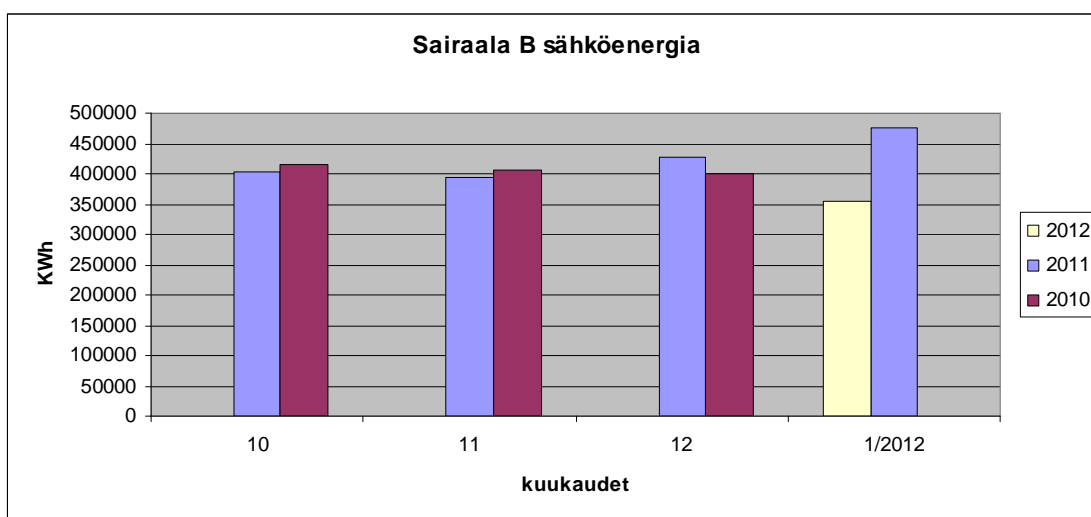
Seurantajakson aikana (kuvio 19) sairaalan B normitettu lämpöenergian kulutus väheni 14,7 %. Lämpöenergian kulutus oli vuoden 2011 alusta syyskuuhun asti vähentynyt 2,2 %. Kokonaisuudessaan vuoden 2011 lämpöenergian kulutus sairaala B:ssä väheni edelliseen vuoteen verrattuna 5,8 % (liite 2) ja ominaiskulutus vuonna 2011 oli 59,3 kWh/r-m³, kun se vuonna 2010 oli 62,9 kWh/r-m³.



Kuvio 19. Sairaalan B sähköenergian kulutusvertailu edelliseen vuoteen.

7.4 Sairaalan B sähköenergia

Seurantajakson aikana (kuvio 20) sairaalan B sähköenergian kulutus väheni 6,8 %. Sähköenergian kulutus oli vuoden 2011 alusta syyskuuhun asti lisääntynyt +5,1 % verrattuna vuoden 2010 vastaavaan aikaan.



Kuvio 20. Sairaalan A sähköenergian kulutusvertailu edelliseen vuoteen

Kokonaisuudessaan vuoden 2011 sähköenergian kulutus sairaala B:ssä väheni edelliseen vuoteen verrattuna 3,9 % (liite 2) ja ominaiskulutus vuonna 2011 oli 37,3 kWh/r-m³, kun se vuonna 2010 oli 36,3 kWh/r-m³.

8 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä selvitettiin rakennusautomaatiojärjestelmän ja talotekniikan korjaamisella saavutettavaa energiansäästöä sairaalarakennuksessa. Tavoitteena oli varmistaa rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyn talotekniikan toimivuus ja energiatehokas käyttö.

Kohteiden A ja B energiakulutuksia saatiin vähennettyä seurannan aikana. Kulutuslukemat olivat normeerattuja, jotta ulkolämpötilan vaihtelu ei vaikuta kulutusvertailuun. Silti ulkolämpötilan vaihtelu näkyy kulutuslukemissa, erityisesti sairaala B:n kulutuslukemissa. Joulukuussa 2011 keskilämpötila Helsinki-Vantaan lentoasemalla oli $+2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, kun keskilämpötila normaalisti on $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tammikuussa 2012 keskilämpötila oli $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, joka oli normaali lämpötila vastaavalle ajankohdalle. Molempien sairaaloiden sähkönkulutusta joulukuussa on lisännyt lähes tauotta toiminnassa olleet pihojen sulatusjärjestelmät ja sadevesikourujen saattolämmitykset. Lisäksi normaalin kuivan pakkasilman sijaan kosteaa tuloilmaa on jouduttu kuivattamaan niissä tiloissa, joissa toiminta on käytössä. Sairaala B:n merkittävä lämpöenergian kulutuksen väheneminen johtuu pakkaspäivistä: kun ulkolämpötila on tarpeeksi alhainen, rakennusautomaation ohjelmalla puolitetaan ilmastointikoneiden ilmamääriä. Tammikuussa 2012 näitä päiviä oli useita. Sairaala A:ssa ei tammikuussa ollut yhtä merkittävää alenemaa lämmitysenergian kulutuksessa, mitä asiaa selvitetään.

Auditointiselvityksissä todettiin, että talotekniikan käyttöä voidaan ohjata energiatehokkaammaksi aikaohjelmia ja asetusarvoja muokkaamalla sekä muuttamalla IV-kojeiden säätö- ja ohjaustoimintoja tehokkaammiksi ja tarpeenmukaisiksi. Ylläpitämällä ja huoltamalla järjestelmiä ja kenttälaitteita, erityisesti lämmöntalteenottojärjestelmiä, saavutetaan merkittäviä säästöjä.

Tehokkain ja halvin tapa säästää energiaa rakennuksessa on järkeistää ilmanvaihtokoneikkojen aikaohjelmat. Sairaaloissa pidetään hygieniasyistä ilmanvaihtoa päällä myös sellaisissa potilastiloissa, joissa ei ole toimintaa öisin taikka viikonloppuisin. Ilmanvaihtoa pidetään jatkuvasti päällä myös tiloissa, joissa ei ole potilastoimintaa, kuten esimerkiksi toimistotiloissa ja teknisissä tiloissa. Näin ei kuitenkaan ole menetelty kaikissa sairaaloissa, vaan sairaanhoitopiiristä löytyy jopa sairaaloiden sisältä epäloogi-

suutta aikaohjelmien suhteen. Tästä syystä olisi selvitettävä tämän päivän tietämyksellämme hygienian vaikutusta sairaalan taloteknisiin ratkaisuihin:

1. Voidaanko tehostaa lämmöntalteenottomenetelmiä? Sairaaloissa on tiloja joihin voidaan suunnitella ja toteuttaa lämmöntalteenotto tehokkaimmilla, osittain tulo- ja poistoilmaa sekoittavilla järjestelmillä
2. Voidaanko pienentää leikkaussalien ilmanvaihtoa, tai jopa sammuttaa ilmanvaihto kokonaan leikkaussaleista operatiivisen käyttöajan ulkopuolella
3. Onko mahdollista yhtenäistää tarpeenmukaista ilmanvaihtoa aikaohjelmien avulla?

Leikkaussalien paineolosuhteet voidaan saavuttaa pienemmillä ilmamäärillä käyttöajan ulkopuolella. Riittänee, että salissa vallitsee lievä ylipaine. Myös leikkaussalien kustuksien tarpeellisuus ja erityisesti maksimikosteuden raja on selvitettävä: suurin osa leikkaussalien kostutusjärjestelmistä on kytketty pois salihenkilökunnan toivomuksesta ja mitä alhaisempi on sallittavan kosteuden raja, sitä enemmän käytetään energiaa kostean tuloilman kuivaamiseen. Joissain leikkaussaleissa käytetään kiertoilmatoimintaa, koska salikohtaiset koneikot eivät palvele muita tiloja. Poistoilmaa siis sekoitetaan tuloilmaan. Silti näissä koneikoissa on ohjeiden mukaiset nestekiertoiset lämmöntalteenottojärjestelmät.

Osassa tiloissa sisään puhallettavan tuloilman lämpötilat olivat korkeat. Tiloja siis lämmitetään ilmalla. Onhan tuloilman asetusarvon nostaminen nopein tapa saada kylmää valittava asiakas tyytyväiseksi, mutta se on myös epätaloudellista. Ilmastointi on alueellinen ja yllälämmittää suurinta osaa alueen tiloista toisin kuin tilakohtainen patteri. Korkea tulolämpötila ajaa lämmityspattereiden termostaattiventtiilit kiinni, ja lämmityspattereiden toiminta menettää merkityksensä aiheuttaen ikkunoista vedon tunnetta. Lisäksi on havaittu, että sairaanhoitopiirissä on merkittävä määrä tiloja, joissa patteriverkoston teho ei riitä pitämään tiloja lämpiminä, ja tästä syystä niitä lämmitetään tuloilmalla. Tämän perusteella olisi energiataloudellisesti järkevää selvittää ja korjata tehottomat patteriverkostot.

Tarpeenmukaiset ohjaukset sekä energiatehokkaammat sähköiset laitteet ovat ratkaisuja, joilla vähennetään sähköenergian kulutusta. Sähkön kulutuksen hillitseminen ra-

kennusautomaation avulla on vaikeaa, jos esimerkiksi valaistuksen ohjaus ei ole liitetty rakennusautomaatioon. Sähkön säästöjä on haettava esimerkiksi hissijärjestelmistä ja jäähdytysjärjestelmistä. E-luvun myötä sähkön merkitys kasvaa haettaessa energia-säästöjä, joten tulevia säästöratkaisuja ei enää voida perustella takaisinmaksuajoilla, vaan sähkön säästöt tehdään rahalla.

Käyttöhenkilökunnan opastus ja koulutus on tärkeää, jotta sairaalan päivittäinen talotekninen toimivuus ja rakennusautomaation säätöjärjestelmien tehokkaampi hyödyntäminen varmistuu. HUS-Kiinteistöt Oy on tehostanut toimintaa nimeämällä rakennusautomaation vastuuhenkilöt jokaiseen klinikkaan.

HUS-alueen sairaaloiden kiinteistömassan vuoksi olisi lisäksi järkevää keskittää järjestelmien ja kiinteistöjen energian säännöllinen seuranta, analysointi ja raportointi asiantuntijalle, jotta sairaanhoitopiirin rakennusautomaatiojärjestelmien talotekniikan energiatehokas toimivuus varmistetaan. Tämä toiminta voidaan mahdollistaa etäkäyttöohjelmalla, jolloin rakennusautomaatiojärjestelmän operointi voidaan toteuttaa internetin välityksellä mistä tahansa selaimella varustetusta PC:stä. Energiankäytön seurantaa voidaan tehostaa hyödyttämällä energiamittareiden etäluettavuutta.

Energiakatselmuksissa vertaillaan sairaaloiden ominaiskulutuksia Motivan tilastoihin kerättyjen terveydenhuoltorakennusten keskimääräisiin ominaiskulutuksiin. Motivan tilastoihin on kerätty myös terveyskeskuksia ja terveysasemia, joiden käyttöajat ja toiminnot eivät ole verrattavissa sairaaloiden toimintoihin. Suomen sairaalatekniikan yhdistys on käynnistänyt projektin, jossa kerätään kaikkien Suomen sairaanhoitopiirien sairaalarakennusten ominaiskulutukset rekisteriin, jotta vertailupohja olisi järkevä. Projektin valmistumiseen asti olisi hyvä vertailla kulutuksia HUS-alueen sairaaloiden ominaiskulutuksiin.

Auditointiselvitys täydentää kohteessa tehtyä energiakatselmusta. Ainoastaan sairaala B:ssä tehtiin noin 5 % energiakatselmuksessa ehdotettuja toimenpiteitä auditoinnin yhteydessä. Auditointiprojektin tuloksien perusteella voidaan ehdottaa, että energiakatselmuksessa on syytä painottaa enemmän rakennusautomaation osuutta.

Tämä opinnäytetyö osoitti, että rakennusautomaation auditointiprosessilla saavutetaan merkittäviä energiasäästöjä kohtuullisilla investointikustannuksilla. Koko projektin yksinkertainen takaisinmaksuaika oli kolme kuukautta. Tästä syystä HUS-Kiinteistöt Oy:ssä otetaan käyttöön kolmen vuoden määrävälein toteutettava rakennusautomaatiojärjestelmien auditointimenettely.

Lähteet

- 1 HUS:n energiatehokkuussuunnitelma. (WWW-dokumentti.) HUS hallituksen kokous 8.12.2008/Pykälä 202. < <http://asiakirjat.hus.fi/djulkaisu/kokous/KOKOUS-643-15.HTM>>. Luettu 12.11.2011.
- 2 Specialised ventilation for healthcare premises - design and validation. Department of Health Estates and Facilities Division. London, UK: TSO 2007.
- 3 Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö, 2012.
- 4 Kurnitski, Jarek. Kustannusoptimaalisuuden ja lähes nollaenergiarakennusten tekniset määritelmät ja niiden asema eurooppalaisessa ohjauskehityksessä. Luentomateriaali. Metropolia-ammattikorkeakoulu, 15.12.2011.
- 5 Forss, Jarmo. Laatupäällikkö, HUS-Kiinteistöt Oy, Helsinki. Raportit ja taustamateriaali 2012.
- 6 Piikkilä, Veijo (toim.). Kiinteistöjen valvomojärjestelmät, ST-käsikirja 22. Espoo: Sähkötieto Oy, 2008.
- 7 Hakkila, Jukka. Kiinteistöpalvelupäällikkö, HUS-Kiinteistöt Oy, Helsinki. Haastattelut 2012.
- 8 Piikkilä, Veijo (päätoim.) & Forsman, Jukka. Rakennusautomaatiojärjestelmät, ST-käsikirja 17. Espoo: Sähkötieto Oy, 2001.
- 9 SFS-EN 15232. Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusautomaation, säädön ja kiinteistöhoidon vaikutus energiatehokkuuteen. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto, 2007.
- 10 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö, 2012.
- 11 Motiwatti. (WWW-dokumentti.) Motiva Oy.
<http://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti_2.0_energiakatselmoijan_tyokalun_la_skentaperiaatteet.pdf>. Luettu 12.11.2011.
- 12 Lämmöntalteenotto likaisesta teollisuuspoistoilmasta. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Helsinki: Valtion painatuskeskus1982.
- 13 Paavilainen, Karin, Kehityspäällikkö, TPI-Control Oy, Helsinki. Tutkimusmateriaali 2012.
- 14 Julkisen sektorin energiatehokkuus – keskeiset johtopäätökset ja toimenpidesuosituks 2/2008. (WWW-dokumentti.) Sektoritutkimuksen neuvottelukunta.
<http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/setu/liitteet/Setu_2-2008.pdf>. Luettu 12.11.2011.
- 15 Ohjekortti LVI 05-10440. Sisäilmastoluokitus. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotantovaatimukset. Helsinki: Rakennustieto Oy, 2008.

Liite 1: Aikaohjelmien muutosehdotukset 1/3

[illegible]

Liite 1: Aikaohjelmien muutosehdotukset 2/3

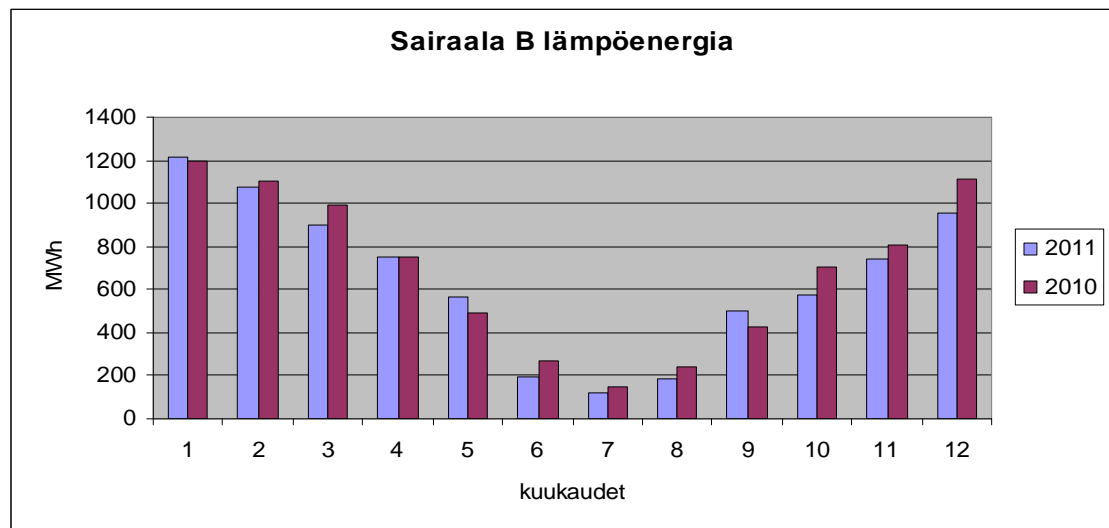
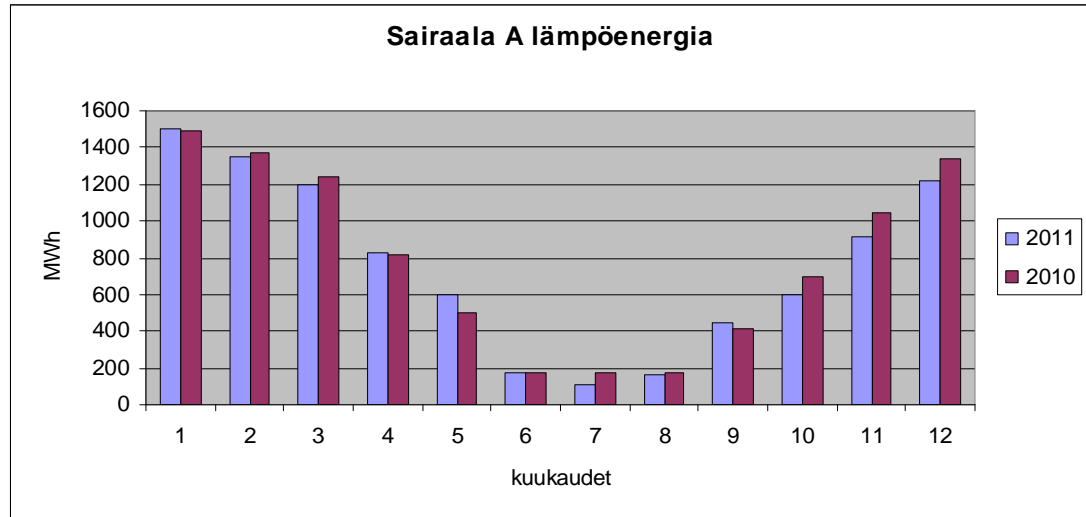
Tunnus		Rosa	Päiväaika	Käynnin ohjelma						Nykyiset käyttäjät				Ehdotett. käyttäjät (vain muutett. käytt.)					
				so	ka	to	ti	ke	co	14-talo ma-pe	la-su + pyhä	osasto ma-pe	la-su + pyhä	14-talo ma-pe	la-su + pyhä	osasto arkipv	la-su + pyhä		
TK72		G1	Välinehuolto	X						07:00-20:00									
TK73		G1	Puhdistus	X						06:00-20:00		00:00-06:00 20:00-24:00	00:00-24:00			00:00-06:30 17:00-24:00			
TK74		G1	Käytävät, tupakkahuoneet P1-P3	X						07:00-20:00	07:00-20:00	00:00-07:00 20:00-24:00	00:00-07:00 20:00-24:00						
TK75		G1	Pöytähuoneet	X						07:00-18:00		00:00-07:00 18:00-24:00	00:00-24:00	06:00-17:00		05:30-06:00			
TK76		G1	Vuode-osastot	X						07:00-21:00	07:00-21:00	00:00-07:00 21:00-24:00	00:00-07:00 21:00-24:00						
TK77		G1	Leikkikeskus	X				X			00:00-24:00								
TK350		H	Leikkauksesi h1024	X						06:00-18:00		00:00-06:00 18:00-24:00	00:00-24:00						
TK351		H	Leikkauksesi h1023	X						06:00-18:00		00:00-06:00 18:00-24:00	00:00-24:00						
TK352		H	Leikkauksesi h2013	X						06:00-18:00		00:00-06:00 18:00-24:00	00:00-24:00						
TK353		H	Leikkauksesi h2018	X						06:00-18:01		00:00-06:00 18:00-24:00	00:00-24:00						
TK355		H	Hieronta, välinehuolto	X						07:00-21:00	07:00-17:00	00:00-07:00 21:00-24:00	00:00-07:00 17:00-24:00						
TK01		H	Touropöytä -2 krs	X						07:00-17:30		00:00-07:00 17:30-24:00	00:00-24:00						
TK02		H	Leikkauksesasto 2 krs	X						07:00-17:30	8:30-15:00	00:00-07:00 17:30-24:00	00:00-08:30						
TK03		H	Välinehuolto 1 krs	X						06:30-21:00		00:00-06:30 21:00-24:00	00:00-24:00						
TK04		H	H J K L O krs PK5	X						06:00-23:00	06:00-23:00								
TK01		K	Keskustelu	X						02:00-19:00	06:00-17:00	00:00-07:00		06:00-17:00					
TK02		K	Vuodeosastot 3-5 krs luode	X						07:00-21:00	07:00-21:00	00:00-07:00 21:00-24:00	00:00-07:00 21:00-24:00						
TK03		K	Vuodeosastot 3-5 krs kaakko	X						07:00-21:00	07:00-21:00	00:00-07:00 21:00-24:00	00:00-07:00 21:00-24:00						
TK11		K	2 krs Poliklinikka	X						06:00-17:00				06:30-17:00					
TK12		K	2 krs Patologian laborat	X						ma 00:00-18:00 ti-su 00:00-24:00		00:00-06:30 17:00-24:00	00:00-24:00	06:00-17:00		05:30-06:00			
TK13		K	2 krs Hallinto, päivystys	X						06:30-17:00									
TK14		K	1 krs Oudot	X						06:00-18:00									
TK15		K	1 krs puhd. ja pesutilat	X						06:30-21:00	06:30-21:00	00:00-06:30 21:00-24:00	00:00-06:30 21:00-24:00	06:30-17:00		00:00-06:30 17:00-24:00	00:00-24:00		
TK16		K	2 krs geriatrinen yksikkö	X						06:00-21:00	06:00-21:00	00:00-06:00 21:00-24:00	00:00-06:00 21:00-24:00	07:00-21:00	07:00-21:00	00:00-07:00 21:00-24:00	00:00-07:00 21:00-24:00		
TK301		M	3 krs toimistot	X						07:00-16:00		16:00-18:00		06:00-17:00		05:30-06:00			
TK302		M	2 krs fysioterapia	X						06:00-17:00		00:00-06:00 17:00-24:00	00:00-24:00	06:00-17:00		05:30-06:00			
TK303		M	2 krs kipuhoito	X						06:00-18:00		00:00-06:00 18:00-24:00	00:00-24:00	06:00-17:00		05:30-06:00			
TK304		M	2 krs laboratorit	X						07:00-23:00	07:00-23:00	00:00-07:00 23:00-24:00	00:00-07:00 23:00-24:00						
TK305		M	1 krs angio	X						07:00-16:00		16:00-18:00		06:00-17:00		05:30-06:00			

Liite 1: Aikaohjelmien muutosehdotukset 3/3

Tunnus	R-osa	Päiväaika	Käynnin ohjelma							Mykkyiset käynnit		Ehdotetut käynnit (vain muutetut kirjat)			
			ao	kä	le	li	it	co2	co	1/1-lehto	ma-pe	la-su + p/ylä	osasto	ma-pe	la-su + p/ylä
TK306	M	1 krs ccu	x							00:00-24:00		00:00-24:00		07:00-22:00	07:00-22:00
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													22:00-24:00	22:00-24:00	22:00-24:00
TK307	M	teho-osasto	x							00:00-24:00		00:00-24:00		07:00-22:00	07:00-22:00
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													22:00-24:00	22:00-24:00	22:00-24:00
TK308	M	1 krs ppl	x							00:00-24:00		00:00-24:00		07:00-24:00	07:00-24:00
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													hiäl t 60/p55 Pa		
TK309	M	1 krs kirut. tark.	x							00:00-24:00		00:00-24:00		07:00-24:00	07:00-24:00
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													hiäl t 37/p45 Pa		
TK310	M	aula	x							00:00-24:00		00:00-24:00		07:00-22:00	07:00-22:00
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													22:00-24:00	22:00-24:00	22:00-24:00
													hiäl t 35/p45 Pa		
TK311	M	0 krs toimistot	x							07:00-18:00			00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													18:00-24:00		
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
TK312	M	0 krs neuvotteluh.	x							07:00-16:30		07:00-16:30	00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													00:00-07:00	00:00-07:00	00:00-07:00
													16:30-24:00	16:30-24:00	16:30-19:00
													00:00-06:30	00:00-24:00	05:30-06:00
TK313	M	00 krs.	x							06:30-16:00			00:00-06:30	00:00-24:00	06:00-17:00
													16:00-24:00		
TK314	M	0 krs auditorio ja aula	x					x		07:00-18:00					
TK315	M	tehtonhalli	x							06:30-20:00		09:00-17:00		06:30-18:00	
TK316	M	puolämmin varasto	x							07:00-17:00					
TK328	M	ambulanssi sis.tulo	x						x	00:00-24:00		00:00-24:00			
TK330	M	Päivystysliik.	x							00:00-24:00		00:00-24:00		07:00-24:00	07:00-24:00
														00:00-07:00	00:00-07:00
														00:00-07:00	00:00-07:00
														hiäl t 23/p18 Pa	

ao = aikajärjestelmä
ka = kassajärjestelmä
le = lehtojärjestelmä
li = lämpöjärjestelmä
it = ilmastointijärjestelmä
co2 = hiilidioksidijärjestelmä
co = hiilidioksidijärjestelmä

Liite 2: Energian vuosikulutukset 1/2



Liite 2: Energian vuosikulutukset 2/2

